

文章编号:1001-9081(2009)01-0042-03

一种基于感兴趣区域提取的新型 SVD 图像压缩算法

吕良福^{1,2}, 张加万¹, 宾理涵³, 孙济洲¹

(1. 天津大学 计算机科学与技术学院, 天津 300072; 2. 天津大学 理学院, 天津 300072; 3. 天津大学 软件学院, 天津 300072)

(liangfu79@tom.com)

摘要: 提出了一种基于感兴趣区域提取的新型奇异值分解(SVD)图像编码算法(SODSVD)。根据图像的区域复杂度、视觉注意等指标运用感兴趣区域提取技术将图像自适应分块,而对每一小块,根据其复杂度进行不同秩的奇异值分解算法,从而达到图像压缩的目的。同时还提出了一种简单的基于感兴趣区域的图像划分策略。实验结果表明,在PSNR和bpp等评价指标上,新方法有明显优势。

关键词: 感兴趣区域提取; 奇异值分解; 图像压缩

中图分类号: TP751 **文献标志码:**A

New SVD image compression algorithm based on salient object detection

Lü Liang-fu^{1,2}, ZHANG Jia-wan¹, BIN Li-han³, SUN Ji-zhou¹

(1. College of Computer Science and Technology, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. College of Science, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

3. College of Software, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: A new image-coding algorithm (SODSVD) that combined the standard Singular Value Decomposition (SVD) algorithm and the salient object detection technique was proposed. During encoding the images, the salient object detection was used to split the source image into adaptive smaller blocks based on the complexity and visual attention, while smaller blocks were transformed by use of SVD. A simple strategy was proposed to split the source images. Simulation results show that the new algorithm provides good distortion, bit rate and image quality.

Key words: salient object detection; Singular Value Decomposition (SVD); image compression

0 引言

奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)对图像具有能量聚集特性,这使得它成为图像压缩领域中非常流行的一种技术。近年来,奇异值分解算法已被广泛研究^[1-6]。文献[2]提出将离散余弦变换(DCT)和奇异值分解结合用于图像压缩技术。DCT对源图像中高相关部分进行变换,而SVD技术用于变换高频部分。文献[4]提出了基于离散小波变换(DWT)和SVD的图像压缩技术,主要对图像中低相关部分进行了变换处理。在当前所有运用SVD技术进行图像压缩时,通常将源图像进行分块,对每一小块采用SVD技术,这些操作都是对图像的各个区域采用相同的压缩比进行压缩。这使得各方法在使用过程中要求取块的个数为2的乘幂。而在实际应用中,图像的使用者往往只对图像的某一部分感兴趣,这提示我们应对图像的各部分采用不同压缩比进行压缩。因此,将图像划分为许多简单区域,对较简单背景部分运用低秩SVD技术进行压缩,而对于较复杂部分则进行较高秩的SVD变换以充分保留细节,既保证不丢失重要信息的同时,又能有效地压缩数据量。因此,将图像根据复杂度、视觉注意等进行划分变得更有意义,但对划分后每一小块进行压缩有时比对整幅图像处理更费时。然而,正如本文实验部

分所看到的,这样使压缩后的图像质量尤其感兴趣区域部分的图像质量更好。另外,在实际生活中,有时需要压缩大图片,并要求突出图像的部分细节,所以不能简单地将图像进行等分或者固定块数的划分,如交通图像的压缩,卫星传感图像的压缩等。

为此,本文提出一种新的图像压缩算法——SODSVD,它根据图像复杂度、视觉注意等,自适应地将图像划分为多个大小不同的矩形块,对复杂度不同的小块运用不同秩的奇异值分解技术,从而达到图像压缩的目的。

1 标准奇异值分解(SVD)算法

奇异值分解通常是给定 $m \times n$ 阶矩阵 A , 计算三个矩阵 U , S 和 V :

$$A = USV^H \quad (1)$$

其中: S 是一 $m \times n$ 阶矩阵(同 A 的阶数)。 U 和 V 分别为 $m \times m$ 和 $n \times n$ 阶的规范阵。对矩阵 A 进行奇异值分解,也就是求解 AA^H 和 $A^H A$ 的特征值及对应的特征向量。因为 V 是以 $A^H A$ 的特征向量为列构成的矩阵, U 是以 AA^H 的特征向量为列构成的矩阵。矩阵 $A^H A$ 或 AA^H 的特征值的平方根我们称之为 A 的奇异值。以 A 的奇异值为对角元构成对角矩阵 S , 并且对角元大小按降序排列。由此,矩阵 A 可以通过下面的秩为 k 的矩阵 \tilde{A} 近似:

收稿日期:2008-07-;修回日期:2008-09-15。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60673196);天津市自然科学基金资助项目(07F2030)。

作者简介:吕良福(1979-),男,山东潍坊人,博士研究生,主要研究方向:图像处理、数值分析、网络安全可视化;张加万(1975-),男,山东临沂人,副教授,博士,主要研究方向:网络安全可视化、计算机图形学;宾理涵(1986-),男,四川成都人,硕士研究生,主要研究方向:计算机图形学、图像处理;孙济洲(1949-),男,天津人,教授,博士生导师,主要研究方向:计算机图形学、并行计算。

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^k (\sqrt{s_i} u_i) (\sqrt{s_i} v_i^H) \quad (2)$$

其中: u_i 和 v_i 分别为 U 和 V 的第*i*个列向量, s_i 为第*i*个奇异值。易知,均方误差为舍弃的特征值的和。根据奇异值分解对图像的能量聚集特性,可以很容易决定舍弃那些在矩阵中所占比重较小的特征值和相应的特征向量,保留所占比重较大的部分。

奇异值分解计算复杂度为 $O(n^3)$,这使得在处理大图时速度非常缓慢。因此研究者通常采用将大图进行划分,分别对小区域运用奇异值分解技术,这可以使耗时有所减少,并且可以大大改善图像的压缩比。如一幅单一颜色图像我们可以运用秩为1的奇异值分解就可得到很好的近似^[6]。然而通常一幅图像较为复杂,如本文实验部分图像3(a),图中包含水的部分较为简单,而小轿车部分就比较复杂。因此,为了更好地显示细节,可以对复杂部分运用秩较高的奇异值分解技术进行压缩。

目前,基于奇异值分解的图像压缩技术主要是将奇异值分解与其他技术结合,利用奇异值分解对图像的能量聚集特性可以很好地提升压缩效果。如,为对图像中低相关部分进行变换处理,文献[4]提出了基于DWT(离散小波变换)和SVD的图像压缩技术。文献[2]提出将DCT(离散余弦变换)和SVD(奇异值分解)结合用于图像压缩技术。DCT对源图像中高相关部分进行变换,然而SVD技术用于变换高频部分。但目前的各方法只能取块的个数为2的乘幂,并不能将图像根据复杂度进行小块划分。因此,必须对奇异值分解进行研究,使得它在图像压缩中更有效。

2 新型SVD图像编码算法

2.1 感兴趣区域提取在图像压缩中的运用

视觉生理实验表明,人脑或可视化系统通常仅对图像中的某一部分或某些部分更感兴趣,而非整幅图像^[6]。近年来许多学者对图像的兴趣区域提取进行了详尽研究^[7-10]。这些算法大都是为解决计算机视觉问题而设计,主要考虑尺度问题和不变性问题。它主要分为特征提取、显著点计算和显著点映射图三部分。为量化图像特征,显著点映射图首次在文献[7]中被提出。借鉴文献[7],本文引入亮度、颜色、方向特征作为图像的主要显著特征。由于亮度、颜色均没有方向性,本文运用了高斯核函数[1 5 10 10 5 1]/32,使用对称的Gaussian金字塔对其进行分析计算;使用Gabor滤波器即采用Gabor金字塔处理方向特征。计算时首先用相应的滤波器对金字塔每层中的图像进行滤波,然后将中心层和外周层之间像素值对应相减,最终得到9层金字塔模型。并由此可分别得到亮度映射、颜色映射和局部方向映射图。三个映射图组合在一起便可得到显著点映射图。图1是将实验部分图像2分解得到的显著特征映射图。

通过分析计算得到显著点映射图后,便可将图像中感兴趣区域部分提取出来。本文通过矩形将感兴趣区域从图像中标注出来。如果只进行一次感兴趣区域的提取,可以将图像分为5部分,然后选择合适的秩对每部分图像运用奇异值分解变换进行压缩处理。当然,当提取出感兴趣区域后,可以对每小块采用其他压缩方法进行处理。其中图像5部分的划分

策略很多,本文运用简单划分准则(图2)。

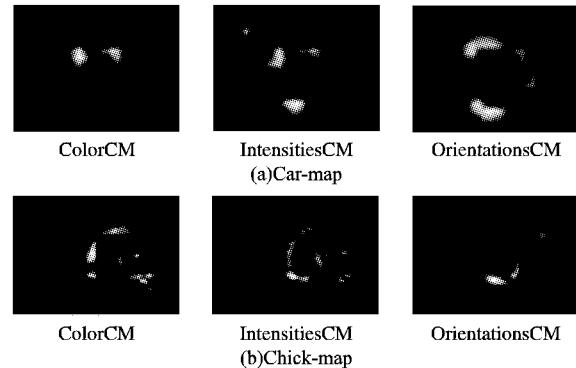


图1 原始图像的亮度映射、颜色映射和方向映射图

Section A		
Section B	The Salient Object	Section C
Section D		

图2 图像划分策略

2.2 新型图像压缩算法

本节提出了一种新型的基于感兴趣区域提取的SVD图像编码算法(SODSVD)。新算法将原图像根据复杂度划分为不同大小的小块,对每一小块分别应用奇异值分解技术。当然,奇异值分解技术也可以采用其他变换如DCT和DWT等。

SODSVD算法:

1) 给定图像矩阵 $X \in R^{m \times n}$,运用感兴趣区域提取技术将其划分为5块或者更多子块, $X_i \in R^{k \times l}$ ($i = 1, 2, \dots, 5; 1 < k < m, 1 < l < n$)要求每小块能较好地映射图像的复杂程度。

1.1) 运用Gaussian滤波器对金字塔每层中的图像进行滤波,然后将中心层和外周层之间像素值对应相减,得到9层金字塔模型。

1.2) 计算分析亮度、颜色、方向特征,得到亮度映射、颜色映射和局部方向映射图。

1.3) 将三个映射图组合得到显著点映射图。用矩形将感兴趣区域从图像中标注出来。

2) 对每一子矩阵 X_i 运用奇异值分解技术,得到变换后的矩阵 $X_i^{(1)}$ 。

2.1) 分别求解 $X_i X_i^H$ 和 $X_i^H X_i$ 的特征值与特征向量。以 $X_i^H X_i$ 的特征向量为列得到矩阵 V ,以 $X_i X_i^H$ 的特征向量为列得到矩阵 U 。奇异值按降序排列作为对角元构成对角矩阵 S 。即 $X_i = USV^H$ 。

2.2) 通过求解 $X_i^{(1)} = \sum_{i=1}^k (\sqrt{s_i} u_i) (\sqrt{s_i} v_i^H)$ 。用秩为*k*的矩阵 $X_i^{(1)}$ 近似代替 X_i 。其中 u_i 和 v_i 分别为 U 和 V 的第*i*个列向量, s_i 为第*i*个奇异值。

3) 重排矩阵 $X_i^{(1)}$ ($i = 1, 2, \dots, 5$),得到 $m \times n$ 阶矩阵 X' 。则 X' 就是初始矩阵 X 的近似矩阵。

在第2.2步中,在运用奇异值分解时,对不同的矩阵 X_i 应选择不同的秩*k*。通常,*k*可以根据块的大小、复杂程度、视觉比重等指标选择具体数值。

3 模拟实验及数值结果

为客观评价新方法的有效性,本文对多幅图像进行了实

验。下面给出其中两幅图像的数值结果。图 3 为 333×500 彩色轿车和 768×1024 卡通小鸡图像。本文所有实验在如下配置机器上运行: Pentium D 3.0 GHz, 1.0 GB 内存, Microsoft Windows XP 和 Matlab 7.0。

本文采用峰值信噪比(PSNR)、压缩后图像的字节数、每像素比特数(bpp)作为客观评价新方法的三个参数指标。通过比较块奇异值分解方法 BSVD (Block SVD) 和新算法 SODSVD, 在同一坐标系中, 得到对应的曲线图(见图 4)。在运用 BSVD 时, 图像被等分为 4 块。从图中可以很清晰看出新方法的有效性。

图 5 给出了通过 BSVD 和 SODSVD 压缩后的重构图像, 其中每像素比特数为 0.56, 峰值信噪比分别为 23.6459 dB 和 24.0750 dB, 秩分别为 $r = 14$ 和 $r_A = r_B = r_C = r_D = 5$ (S, A, B, C, D 如图 2 中所示)。可明显看出, 运用新方法得到的重构图像保真度高, 视觉上更突出了感兴趣区域, 如图中的车牌、车灯等。这可以在基于内容的图像检索等应用中发挥作用。对 SODSVD 方法, 也可以采用其他方法来选取秩的大小。图 3 中, 若对水的部分更感兴趣, 那么我们可以选取 r_B, r_C 的值大于其他值即可。



图 3 原始图像

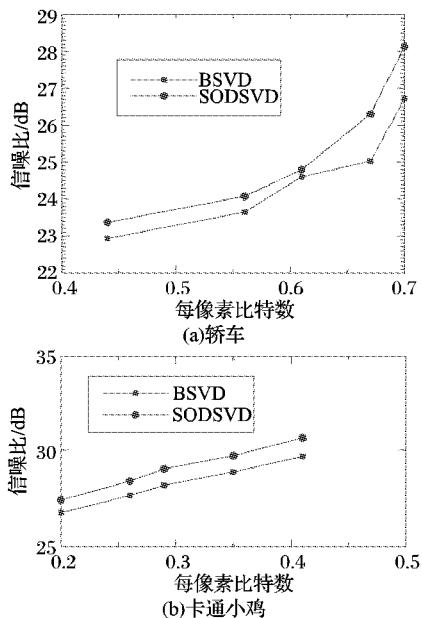


图 4 基于 SODSVD 和 BSVD 的 PSNR-bpp 曲线图

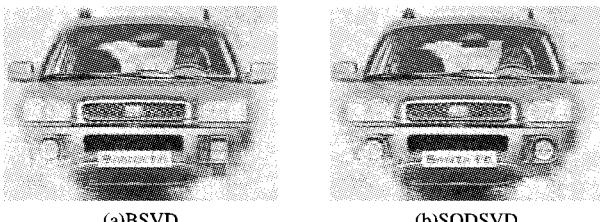


图 5 用 BSVD 和 SODSVD 得到的轿车重构图像(每像素比特数为 0.56)

4 结语

本文提出了一种新的图像压缩算法——SODSVD, 它将标准的奇异值分解算法和感兴趣区域提取技术相结合, 运用各自特性改善图像压缩算法。通常, 根据图像区域的复杂度、视觉注意等指标运用感兴趣区域提取技术将图像自适应分块, 而对每一小块, 根据其复杂度进行不同秩的奇异值分解算法, 从而达到图像压缩的目的。实验结果表明, 表现在 PSNR 和 bpp 等评价指标上, 本文方法有明显优势, 其压缩效率比 BSVD 方法高。

参考文献:

- [1] ANDREWS H C, PATTERSON C L. Singular Value Decomposition (SVD) image coding[J]. IEEE Transactions on Communications, 1976, 24(4): 425 - 432.
- [2] DAPENA A, AHALT S. A hybrid DCT-SVD image-coding algorithm[J]. IEEE Transaction on CSVT, 2002, 12(2): 114 - 121.
- [3] WONGSAWAT Y, OCHOA. ETC H. A modified hybrid DCT-SVD image-coding system for color image[C]// ISCIT 2004: IEEE International Symposium on Communications and Information Technology. Sapporo, Japan, IEEE Press, 2004, 2(26/29): 766 - 729.
- [4] OCHOA H, RAO K R. A hybrid DWT-SVD image-coding system (HDWTSVD) for monochromatic images[C]// Proceedings of Electronic Imaging. Santa Clara, CA: [s. n.], 2003, 5022: 1056 - 1065.
- [5] ASHINO R, MORIMOTO A, NAGASE M, et al. Comparing multi-resolution svd with other methods for image compression[EB/OL]. [2008 - 05 - 05]. <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~ashino/pdf/2987.pdf>.
- [6] ARNOLD B. An investigation into using singular value decomposition as a method of image compression[D]. Christchurch, New Zealand: Department of Mathematics and Statistics, University of Canterbury, 2000.
- [7] ITTI L. Models of bottom-up and top-down visual attention[D]. Pasadena, USA: California Institute of Technology, 2000.
- [8] LIU T, SUN J, ZHENG N, et al. Learning to detect a salient object [EB/OL]. [2008 - 05 - 05]. http://research.microsoft.com/~jiansun/papers/SalientDetection_CVPR07.pdf.
- [9] ITTI L, BALDI P. Bayesian surprise attracts human attention[EB/OL]. [2008 - 05 - 05]. http://ilab.usc.edu/publications/doc/Itti_Baldi06nips.pdf.
- [10] ITTI L, BALDI P. A principled approach to detecting surprising events in video[EB/OL]. [2008 - 05 - 05]. http://ilab.usc.edu/publications/doc/Itti_Baldi05cvpr.pdf.
- [11] GOLDRICK C S M, DOWLING W J, BURY A. Image coding using the singular value decomposition and vector quantization [C]// 5th International Conference on Image Processing and its Applications. [S. l.]: IEEE Press, 1995(4/6): 296 - 300.
- [12] YANG J F, LU C L. Combined techniques of singular value decomposition and vector quantization for Image Coding[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4(8): 1141 - 1146.
- [13] VENKATESWARAN N, VIGNESHL J, SANTHOSH S, et al. Hybrid DWT-SVD-VQ image compression for monochrome images [C]// ICSCN 2007: International Conference on Signal Processing, Communications and Networking. [S. l.]: IEEE Press, 2007 (22/24): 277 - 280.