

一种基于离散余弦变换的嵌入式图像编码算法

陈鑫¹, 游敏娟², 崔艺君¹, 张勇¹, 王世刚¹

1. 山东第一医科大学(山东省医学科学院)放射学院, 山东 泰安 271016; 2. 山东医药技师学院, 山东 泰安 271016

【摘要】设计一种基于离散余弦变换的增嵌入式图像编码算法,首先对原始图像进行离散余弦变换,然后按特定扫描顺序对变换域余弦系数进行扫描以便能够很好地确定各系数的位置,其次为了用较少的编码位数表示变换域余弦系数需要对扫描后的系数进行量化。实验结果表明该图像编码算法可以根据目标码率或失真度大小的要求随时结束编码,并能解码近似恢复原图像;且随着压缩比的减小,即传输数据量的增加,无论是主观质量还是客观指标RMSE与PSNR都有较大改善。

【关键词】图像;嵌入式编码;离散余弦变换;均方根误差;峰值信噪比

【中图分类号】R318

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2020)12-1525-04

An embedded image coding algorithm based on discrete cosine transform

CHEN Xin¹, YOU Minjuan², CUI Yijun¹, ZHANG Yong¹, WANG Shigang¹

1. School of Radiology, Shandong First Medical University (Shandong Academy of Medical Sciences), Tai'an 271016, China; 2. Shandong Medicine Technician College, Tai'an 271016, China

Abstract: This paper designs an embedded image coding algorithm based on discrete cosine transform. The coding process is to transform the image with discrete cosine transform firstly, and then to scan the cosine coefficient in the transform domain in a specific scanning order so that the positions of each coefficient can be well determined. Secondly, in order to represent the cosine coefficient in the transform domain with fewer coding bits, the scanned coefficient should be quantified. The algorithm can end the coding at any time according to the requirements of the target bits or degree of distortion, and can approximately restore the original image. Moreover, with the reduction of compression ratio and the increase of transmitted data volume, both the subjective quality and the objective indicators RMSE and PSNR are greatly improved.

Keywords: image; embedded coding; discrete cosine transform; root-mean-square error; peak signal noise ratio

前言

图像数据文件通常包含着大量的冗余信息,这为数据压缩提供了可能。随着小波变换、分形几何等数学理论的深入发展,相继出现小波变换编码^[1-4]以及与分形编码^[5-7]结合的新颖高效的现代编码方法^[8-9]。小波变换图像编码算法中,小波基的选择密切相关到压缩算法的性能。如果小波基函数与图像原信号越相似,则能用越少的求和项来逼近原信号,压缩性能就越好。因此,在小波压缩算法中,小波基直接影响着压缩效果,选择一个合适的小波基就显得尤为重要。

本文提出一种基于离散余弦变换的图像嵌入式编码算法,它不像小波压缩算法那样面临选择最优小波基的困扰,任何图像离散余弦变换仅需要同样的变换核。本文设计的基于离散余弦的图像嵌入式编码算法,能够根据目标码率或失真度大小要求随时结束编码,并能解码近似恢复原图像。结果证明,该算法是一种十分高效的图像编码算法。

1 原理

1.1 嵌入式编码理论

嵌入式编码(embedded coding)就是编码器将待编码的比特流按重要性的不同进行排序,根据目标码率或失真度大小要求随时结束编码;同样,对于给定码流解码器也能随时结束解码,并可以得到相应码流阶段处的目标码率的恢复图像。

嵌入式编码中首先传输的是最重要的信息,其次是次要的信息。嵌入式编码中数据排序算法的优劣和排序信息的处理决定了整个编码算法的效果。著名的嵌入式零树小波编码算法是目前为止最为有

【收稿日期】2020-07-08

【基金项目】国家级大学生创新创业训练项目(201810439058);山东省自然科学基金面上项目(ZR2017MH078);泰安市科技发展引导计划项目(2017NS0138)

【作者简介】陈鑫,研究方向:生物医学工程,E-mail: 1870040276@qq.com

【通信作者】王世刚,博士,副教授,研究方向:生物医学工程,E-mail: fsxywsg@163.com

效的小波编码算法之一,并且出现了很多零树小波编码的改进算法并应用图像编码^[10-14]。

1.2 图像离散余弦变换 (Discrete Cosine Transform, DCT)

图像的DCT属于正交变换,变换后的图像的能量不变,并且能量变得集中:即将整幅图的能量集中在低频部分,位于变换域的左上角区域,而高频能量集中在右下角区域。因此,可以利用图像余弦变换域数据集的特点实现图像的压缩^[15],也可以实现图像的增强、降噪及其他应用^[16-20]。图像的二维离散余弦正、逆变换公式见式(1)和式(2):

$$F(u,v) = \alpha(u,v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (1)$$

$$f(x,y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} \alpha(u,v) F(u,v) \cos \frac{(2x+1)u\pi}{2M} \cdot \cos \frac{(2y+1)v\pi}{2N} \quad (2)$$

$$\text{其中, } \alpha(u) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{M}}, & u = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{M}}, & u \neq 0 \end{cases}; \alpha(v) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{N}}, & v = 0 \\ \sqrt{\frac{2}{N}}, & v \neq 0 \end{cases}$$

正变换 $x = 0, 1, 2, \dots, M-1; y = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

反变换 $u = 0, 1, 2, \dots, M-1; v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

1.3 本文编码算法

本文提出的嵌入式图像余弦变换编码算法是变换编码的一种,由3个基本部分组成:变换、扫描、量化。

(1)变换。首先是原始图像数据通过离散余弦变换后产生变换域系数,由于正交变换并不改变图像的能量,变换这一步骤并不能压缩图像,但是能量在变换域变得集中。

(2)扫描。该步骤是图像编码的关键,为实现在任意时刻结束并提高数据的“最好”表示,需对变换的余弦系数按其重要性进行排序。这样,必须先扫描代表图像重要信息的低频变换域系数,再扫描高频变换域系数。由于图像变换后含有重要信息的系数在变换域左上角区域,所以需要先扫描左上角的系数。

图1所示扫描方式可以很好的编码系数的空间位置信息和扫描过程,系数坐标用 (i,j) 表示,其中 i 表示行数, j 表示列数。在每一个扫描步长(A)的情况下,先进行行扫描,即从第一行扫描至步长(A)行;再从第一列扫描至步长-1(A-1)列;然后增加步长为(A+1),重复以上步骤,先进行行扫描,即从第一行扫描至步长(A+1)行,再从第一列扫描至步长-1(A)列;然后增加步长为A+2,重复以上扫描步骤。并且根据目标码率或失真度大小要求所确定的数据量随时结束编码。

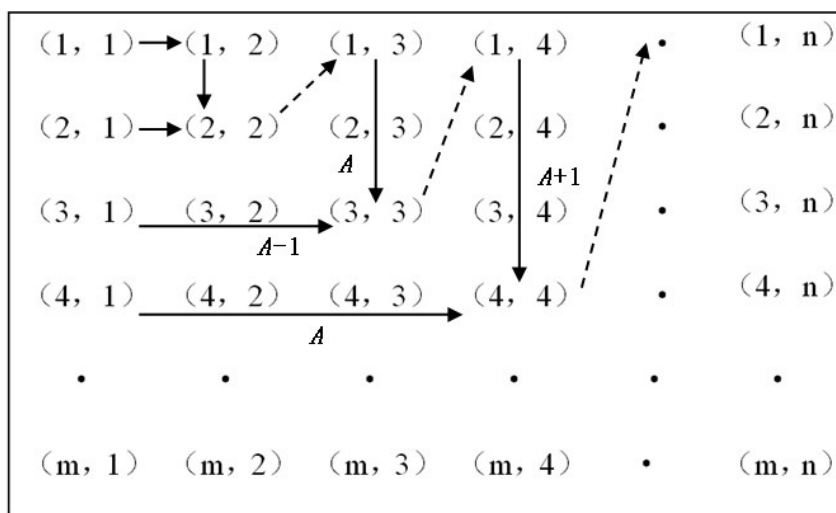


图1 扫描过程

Fig.1 Scanning process

这样,按上述扫描步骤扫描数据的顺序为 $(1,1) \rightarrow (1,2) \rightarrow (2,2) \rightarrow (2,1) \rightarrow (1,3) \rightarrow (2,3) \rightarrow (3,3) \rightarrow (3,1) \rightarrow (3,2) \rightarrow (1,4) \rightarrow (2,4) \rightarrow (3,4) \rightarrow (4,4) \rightarrow (4,1) \rightarrow (4,2) \rightarrow (4,3) \rightarrow (5,1) \rightarrow (5,2) \rightarrow \dots$

(3)量化。该步骤要对扫描后的系数进行量化传输,因为一般图像经DCT后低频系数数值可达 10^4 ,且随着图像内容和位深的不同,有的甚至更大,若用较少的编码位数表示变换域余弦系数,则必须

进行量化。

对变换域数据进行量化,选出传递系数的最小值 X_{\min} 与最大值 X_{\max} ,若编码为每个系数用Nbits表示,因为系数有正有负,所以符号占用1 bit,系数绝对值映射到 $[0, 2^{N-1}-1]$,公式为:

$$Y_i = \text{round} \left[\frac{(2^{N-1} - 1) \times (X_i - X_{\min})}{X_{\max} - X_{\min}} \right]$$

(3)

其中, X_i 为余弦变换系数, Y_i 表示系数 X_i 的量化值,round()表示四舍五入。

解码过程是编码过程的逆过程,解码时系数的绝对值是式(3)的逆运算,公式为:

$$X_i = \frac{Y_i \times (X_{\max} - X_{\min})}{(2^{N-1} - 1)} + X_{\min}$$

(4)

2 方法

本文对一幅掌骨CR图像进行DCT,然后对变换域余弦系数进行扫描量化编码,并计算其客观指标,其步骤如下:

(1)对CR图像进行DCT,得到变换域余弦系数。(2)对余弦系数进行本文算法扫描。(3)扫描后按公式(3)进行量化传输。(4)解码过程是编码过程的逆过程。将接收的数据按公式(4)进行反量化得到余弦系数,再进行余弦反变换近似恢复原图像。(5)评价恢复图像采用均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)和峰值信噪比(Peak Signal Noise Ratio, PSNR):

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f_{i,j} - \hat{f}_{i,j}]^2}$$

(5)

$$\text{PSNR} = 10 \lg \left[\frac{MNf_{\max}^2}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f_{i,j} - \hat{f}_{i,j}]^2} \right]$$

(6)

其中, $\hat{f}_{i,j}$ ($i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M$)表示恢复后的图像像素的灰度值, $f_{i,j}$ ($i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, M$)表示原始图像像素的灰度值, i 与 j 为图像的行与列。RMSE值越小、PSNR值越大,表示图像的编码效果越好。

3 结果

表1显示CR图像编码客观指标RMSE与PSNR随着压缩比变化的情况。CR图像DCT嵌入式编码结果见图2。

从表1和图2可以看出,本文提出的基于离散余弦变换的嵌入式图像编码算法,能够随时结束编码,在足够数据量的情况下可获得较好的视觉效果。且随着压缩比的减小,即传输数据量的增加,无论是主观质量还是客观指标RMSE与PSNR都有较大改善。

表1 图像编码客观指标
Tab.1 Objective indicators of image encoding

| 字节数 | 压缩比 | RMSE | PSNR |
|--------|-------|----------|----------|
| 21 845 | 8:1 | 3.828 1 | 36.368 3 |
| 10 923 | 16:1 | 4.601 2 | 34.770 5 |
| 5 461 | 32:1 | 6.685 5 | 31.525 4 |
| 2 730 | 64:1 | 9.536 8 | 28.440 0 |
| 1 365 | 128:1 | 13.016 1 | 25.738 4 |

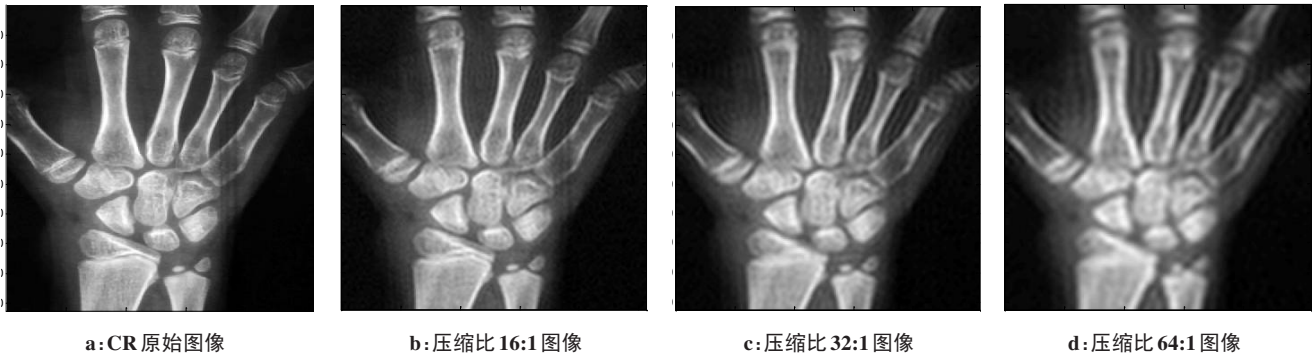


图2 图像编码结果
Fig.2 Image encoding results

需要指出的是变换域系数的量化位数影响着解码图像质量,量化位数越大,反量化时恢复的数据与原余弦系数数据误差越小,编码效果较好。本文采用量化位数为12位,其中符号占1位,数据占11位。

4 结论

图像余弦变换具有良好的频率域局部化特性,是图像分析最有效的工具之一,被广泛应用于图像处理的去噪、增强、编码等各个方面。本文提出一种

基于DCT的图像嵌入式编码算法,任何图像变换需要的是同样的变换核,避免了小波变换编码面临选择最优小波基的困扰;并且能够根据目标码率或失真度大小要求随时结束编码,并能解码实现原图像。本文的研究结果对于图像正交变换编码具有一定的实际意义。

【参考文献】

- [1] 杨楚哲, 赵岩, 王世刚, 等. 小波变换下的特征匹配图像编码[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2018, 39(11): 1816-1822.
YANG C X, ZHAO Y, WANG S G, et al. Feature-matching image coding in the wavelet transform domain [J]. Journal of Harbin Engineering University, 2018, 39(11): 1816-1822.
- [2] 周四望, 刘龙康. 基于小波变换的图像零树压缩感知方法[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2017, 44(2): 129-136.
ZHOU S W, LIU L K. Image zerotree compressed sensing based on wavelet transform[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2017, 44(2): 129-136.
- [3] 汪辉进. 基于小波变换的图像压缩改进算法及其性能分析[J]. 西安文理学院学报(自然科学版), 2017, 20(4): 30-33.
WANG H J. Analysis of an improved image compression algorithm based on wavelet transform and its performance[J]. Journal of Xi'an University (Natural Science Edition), 2017, 20(4): 30-33.
- [4] 熊承义, 李治邦, 高志荣, 等. 基于小波变换的图像压缩感知深度重构网络[J]. 中南民族大学学报(自然科学版), 2020, 39(4): 397-403.
XIONG C Y, LI Z B, GAO Z R, et al. Compressed sensing deep reconstruction network based on wavelet transform[J]. Journal of South-Central University for Nationalities (Natural Science Edition), 2020, 39(4): 397-403.
- [5] 李高平, 宋建成. 图像块自相似特征的快速分形编码算法[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2016, 42(5): 544-549.
LI G P, SONG J C. Fast fractal encoding algorithm based on image block self-similar feature[J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2016, 42(5): 544-549.
- [6] 李高平, 刘莉. 图像子块特征匹配的快速分形编码算法[J]. 计算机工程与应用, 2017, 53(1): 195-200.
LI G P, LIU L. Fast fractal encoding algorithm based on image sub-block feature matching[J]. Computer Engineering and Applications, 2017, 53(1): 195-200.
- [7] 汪明华, 李高平. 基于相似比的变邻域搜索的快速分形编码算法[J]. 西南民族大学学报(自然科学版), 2016, 42(6): 682-687.
WANG M H, LI G P. Fast fractal encoding algorithm based on similarity ratio and variable neighborhood search [J]. Journal of Southwest University for Nationalities (Natural Science Edition), 2016, 42(6): 682-687.
- [8] 张晶晶, 张爱华, 纪海峰. 基于小波与分形相结合的图像压缩编码[J]. 计算机科学, 2019, 46(8): 310-314.
ZHANG J J, ZHANG A H, JI H F. Image compression encoding based on wavelet transform and fractal [J]. Computer Science, 2019, 46(8): 310-314.
- [9] 赵蓉, 王辉, 张爱华. 基于小波变换的分形图像编码压缩算法[J]. 计算机应用与软件, 2019, 36(11): 265-266.
ZHAO R, WANG H, ZHANG A H. Fractal image coding and compression algorithm based on wavelet transform [J]. Computer Applications and Software, 2019, 36(11): 265-266.
- [10] KUMAR R, KUMAR A, SINGH G K. Hybrid method based on singular value decomposition and embedded zero tree wavelet technique for ECG signal compression [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2016, 129: 135-148.
- [11] DEHKORDI V R, DAOU H, LABEAU F. A channel differential EZW coding scheme for EEG data compression [J]. IEEE Trans Inf Technol Biomed, 2011, 15(6): 831-838.
- [12] TOHUMOGLU G, ERBIL SEZGIN K. ECG signal compression by multi-iteration EZW coding for different wavelets and thresholds [J]. Comput Biol Med, 2007, 37(2): 173-182.
- [13] PENG Z R, WANG G J, JIANG H B, et al. Research and improvement of ECG compression algorithm based on EZW [J]. Comput Methods Programs Biomed, 2017, 145: 157-166.
- [14] 赵建军, 贾辉, 葛海建. 基于EZW图像压缩算法改进的可行性研究[J]. 河南大学学报(自然科学版), 2013, 43(6): 692-696.
ZHAO J J, JIA H, GE H J. Feasibility study for the improved algorithm of the EZW image compression [J]. Journal of Henan University (Natural Science), 2013, 43(6): 692-696.
- [15] 廖盈庭, 罗倩儒, 郭贝, 等. 图像数据压缩的二维离散余弦变换实现[J]. 湖南理工学院学报(自然科学版), 2015, 28(3): 35-38.
LIAO Y T, LUO Q R, GUO B, et al. Realization of image compression via discrete cosine transform [J]. Journal of Hunan Institute of Science and Technology (Natural Sciences), 2015, 28(3): 35-38.
- [16] 袁小平, 张侠, 张毅, 等. 基于频域的图像增强技术的改进算法[J]. 科学技术与工程, 2019, 19(31): 246-250.
YUAN X P, ZHANG X, ZHANG Y, et al. An improved image enhancement technology algorithm based on frequency domain [J]. Science Technology and Engineering, 2019, 19(31): 246-250.
- [17] 乔付. 一种使用离散余弦变换图像去噪算法[J]. 海南热带海洋学院学报, 2018, 25(2): 70-75.
QIAO F. An image denoising algorithm by using discrete cosines transformation [J]. Journal of Hainan Tropical Ocean University, 2018, 25(2): 70-75.
- [18] 沈萍萍, 余勤. 基于离散余弦变换的非局部均值图像去噪算法[J]. 计算机工程与设计, 2017, 38(1): 183-186.
SHEN P P, YU Q. Image denoising algorithm using non-local mean based on discrete cosine transform [J]. Computer Engineering and Design, 2017, 38(1): 183-186.
- [19] VEGA E A, OROZCO A L, VILLALBA L J, et al. Digital images authentication technique based on DWT, DCT and local binary patterns [J]. Sensors (Basel), 2018, 18(10): 3372.
- [20] ROY S, PAL A K. An indirect watermark hiding in discrete cosine transform-singular value decomposition domain for copyright protection [J]. R Soc Open Sci, 2017, 4(6): 170326.

(编辑: 薛泽玲)