

# 基于视觉掩蔽特性的感兴趣区渐进图像传输

郑继明, 周大伟

ZHENG Ji-ming, ZHOU Da-wei

重庆邮电大学 计算机科学与技术学院, 重庆 400065

College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China

E-mail: no1\_David@126.com

ZHENG Ji-ming, ZHOU Da-wei. ROI progressive image transmission based on visual masking effect. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(7): 129-132.

**Abstract:** Based on the wavelet transform of image, the conventional ROI progressive transmission algorithm is improved using visual masking effect. On the premise of the high quality of ROI image, the important coefficients for human vision will be transmitted firstly. And a flexible background image transmission mechanism is proposed. An expansion factor  $S$  is introduced in order to indicate the importance of BG image relative to ROI. Moreover, depending on different network bandwidth, the factor can be used to control the BG image transmission mode so as to assure that the whole image have good objective visual effect. In the simulation experiment, the objective and subjective comparative analysis between conventional algorithm and improved algorithm will be made. Eventually, the experimental results proved the validity of the proposed algorithm.

**Key words:** Region of Interest (ROI); wavelet transform; visual masking effect; image progressive transmission

**摘要:** 利用人眼的视觉掩蔽效应, 以图像小波变换为基础, 改进了传统的感兴趣区渐进图像传输算法。在 ROI 图像质量得到保证的同时, 优先传输视觉上重要的小波系数, 并提出一种灵活的背景传输机制。此机制引入扩展因子的概念来说明背景图像相对于 ROI 的重要性, 并且可以根据网络带宽利用扩展因子来调节背景图像的传输方式, 以确保从整体上改善图像的主观视觉效果。仿真实验从主观和客观两个方面对改进算法和传统算法进行了对比分析, 验证了该算法的有效性。

**关键词:** 感兴趣区 (ROI); 小波变换; 视觉掩蔽效应; 图像渐进传输

**文章编号:** 1002-8331(2008)07-0129-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

## 1 引言

随着计算机网络和多媒体技术的发展, 大量的图像、视频信息需要进行网络传输。传统的图像压缩技术由于具有按行传输和高压比下产生方块效应等缺点已经无法满足人们对多媒体图像信息的需求。基于这一问题, 人们提出了渐进图像传输技术<sup>[1,2]</sup>, 改变了传统的图像传输方式。这种技术先传输图像的轮廓, 再传输图像细节信息, 边传输图像数据边解码, 随着码流的增多, 图像的质量得到渐进改善。用户可以根据接收到的图像信息决定是否继续接收图像数据, 从而在不必完全解码的情况下获得自己所需图像信息, 极大地提高了网络传输效率和用户的浏览速度。

在某些特定应用领域, 一幅图像中, 只有局部的信息较为重要, 该区域之外的信息可能意义不大, 这部分区域就称作感兴趣区域 (ROI)。为了进一步提高效率, 基于感兴趣区 (ROI) 的图像编码<sup>[3]</sup>和渐进传输技术相结合<sup>[4]</sup>, 使得用户可以根据自己的需求优先获得图像中感兴趣区域的内容, 从而能更好地满足用户的个性化浏览需求。

目前, 支持渐进传输的图像编码方法一般都是基于小波变

换的子带编码<sup>[5]</sup>。本文正是以小波变换和人类视觉的掩蔽特性为基础, 提出一种基于感兴趣区的渐进图像传输算法。实现了视觉上重要的数据优先传输, 并提出了更加灵活的背景图像传输方式, 可以让背景图像围绕 ROI 以一定的扩展半径进行分级渐进传输显示, 以至于在渐进传输过程中显示出来的总是平滑且具有较好视觉效果的图像。

## 2 小波变换编码的基本框架

长期以来, 图像压缩编码利用离散余弦变换 (DCT) 作为主要的变换技术, 并成功用于各种图像压缩标准中。但是, 在基于离散余弦变换的图像变换编码中, 人们将图像分成  $8 \times 8$  或  $16 \times 16$  像素的块来处理, 从而容易出现方块效应与蚊式噪声。小波变换理论是近年来发展起来的新的数学分支, 因其良好的空间频率局部特性和与人眼视觉特性相符的变换机制, 成为当前图像压缩编码的主要研究技术之一。

基于小波变换的图像压缩编码一般包含 3 部分: 首先, 利用二维 Mallat 分解算法对原始图像进行分解<sup>[6]</sup>, 假设分解成  $k$  层, 则得到  $3k$  个高频子带与一个低频子带; 由于小波变换系数

**基金项目:** 重庆市自然科学基金 (the Natural Science Foundation of Chongqing of China under Grant No.2005BB2063)。

**作者简介:** 郑继明 (1963-), 男, 副教授, 主要研究方向: 小波分析、多媒体技术; 周大伟 (1984-), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 小波分析及图像处理。

**收稿日期:** 2007-06-26 **修回日期:** 2007-08-24

在幅度上还是连续的,因此,第二步需要对小波变换系数进行量化;第三步则由熵编码把量化得到的符号流表示为比特流,以达到压缩数据的目的。用  $L$  表示低通滤波器,  $H$  表示高通滤波器,由多分辨率分析可知,一幅图像经过一次小波变换后,产生 4 个小波子带图像,即水平和垂直方向低频子带  $LL1$ ,水平方向高频和垂直方向低频子带  $HL1$ ,水平方向低频和垂直方向高频的  $LH1$  子带及水平和垂直方向高频子带  $HH1$ 。对低频子带  $LL1$  再用相同方法进一步分解,又可得到更低分辨率的 4 个子带  $LL2$ 、 $HL2$ 、 $LH2$  和  $HH2$ 。以后的小波变换都是对前一次变换产生的低频子带进行变换,如此继续下去,可对图像进行多尺度分析( $N$  层分解)得到  $3N+1$  个子带<sup>[4]</sup>。图 1 显示了一幅图像经过两层小波变换后所形成的各个子带的分布。

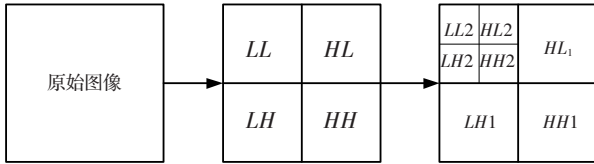


图 1 小波变换的多级分解图

图像经过小波分解后,可以得到不同频率和分辨率的小波子带,并具有以下特点:图像的主要能量集中在低频子带,它代表了图像的轮廓信息;高频子带所占的能量很少,主要代表了图像的纹理细节信息。

为了说明小波多分辨率分析以上的特性,用(9-7)双正交小波滤波器对 Lena 图像(256×256×8)进行 4 级小波分解,并统计各个小波子带所占的能量比,统计结果如图 2 所示。计算各子带能量比的公式定义如下:

$$per = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n |C_{ij}|^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |C_{ij}|^2} \times 100 \quad (1)$$

其中,  $(m \times n)$  为各子带的分辨率,  $(M \times N)$  为原始图像的分辨率,  $C_{ij}$  为图像变换后的小波系数。

从图 2 的统计结果可以看出图像的主要能量都集中在低频子带,高频子带的能量也以分辨率的递增而递减,并且在同一分辨率下各高频子带的能量从大到小依次为  $LH$ (垂直细节分量)  $>$   $HL$ (水平细节分量)  $>$   $HH$ (对角细节分量)。显而易见,低频子带系数对于原始图像的重建是最重要的,其次是低分辨率的高频子带,最后才是能量所占比重最小的具有较高分辨率的高频子带。由于基于小波变换编码的渐进图像传输主要是对小波子带系数进行编码传输,根据小波变换的特点,图像渐进传输的码流结构应该按照各小波子带对于图像重建的重要性程度进行合理设计,即优先传输重要的子带系数,次要的子带系数紧跟其后进行传输,以保证用户接收到的图像数据是目前为止最重要的图像信息。

### 3 ROI 掩模的产生

ROI 是在原始图像上指定的用户感兴趣区域,经过小波变

换后 ROI 信息就会分散到小波域中各小波子带的变换系数上去,ROI 掩模就是为了指明各小波子带上哪些变换系数与 ROI 图像信息有关。

ROI 掩模的产生<sup>[5]</sup>主要是通过小波逆变换获得,并且具体相关的小波系数与所用小波的分解合成滤波器长度有关。以 5/3 整数小波为例,其小波逆变换公式如下:

$$X(2n) = L(n) - \frac{H(n-1) + H(n)}{4} \quad (2)$$

$$X(2n+1) = \frac{L(n) + L(n+1)}{2} + \frac{-H(n-1) + 6H(n) - H(n+1)}{8} \quad (3)$$

以上公式中,  $X(2n)$ 、 $X(2n+1)$  代表原始图像中的像素,而  $L(n)$ 、 $L(n+1)$ 、 $H(n-1)$ 、 $H(n)$  和  $H(n+1)$  分别是小波变换后低频子带和高频子带的小波系数。就 5/3 整数小波而言,重建  $X(2n)$  与  $X(2n+1)$ ,需要的小波子带系数为  $L(n)$ 、 $L(n+1)$ 、 $H(n-1)$ 、 $H(n)$  和  $H(n+1)$ ,用同样的方法分别计算 ROI 中各像素的相关小波系数,得到的这些小波系数就构成了所谓的 ROI 掩模。其它的小波也用类似的方法产生 ROI 掩模,只是涉及到的具体相关系数略有差别,如图 3 所示。

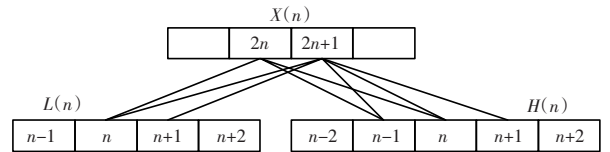


图 3 ROI 掩模的相关小波系数

当 ROI 为矩形时,其掩模的产生相对于其它形状来说则简单的多,只需得出矩形区域在小波域中左上角和右下角的相关小波系数,位于这两点之间的小波系数都属于 ROI 掩模。故不需要对矩形区域中每个像素进行逐个掩模计算,有效地提高了掩模产生的效率。

### 4 基于视觉掩蔽特性的 ROI 渐进图像传输算法

#### 4.1 人类视觉特性

人类视觉特性(HVS)是近年来比较热门的研究课题,特别是与图像处理相结合<sup>[7]</sup>,广泛应用到各个领域之中。目前的研究结果表明人类视觉具有很多掩蔽效应:(1)人眼对图像平滑区域噪声较敏感而对纹理区域噪声较为不敏感,即人眼对高频子带的高频分量失真往往比对低频子带的高频分量失真更敏感;(2)人眼对不同方向上图像细节信息的敏感度不同,对水平方向和垂直方向上的细节的敏感度要大于对角线方向;(3)人眼对不同亮度区域噪声的视觉敏感性程度不同,通常对中等灰度最为敏感。本文只考虑人眼视觉对图像的可见敏感度及人的主观视觉效果,尤其是人类视觉对图像的可见敏感度有一定的门限,即当图像质量达到一定程度后,继续进一步改善图像的质量,人类主观视觉上是感觉不出来的。同时,图像小波变换后的主要能量都集中在低频子带上,而有些高频子带所包含的细节信息对图像重建的主观质量也无太大影响。因此可以看出图像经小波变换所得的小波图像与人眼的视觉特性十分吻合。

分辨率	16×16				32×32			64×64			128×128		
小波子带	LL4	LH4	HL4	HH4	LH3	HL3	HH3	LH2	HL2	HH2	LH1	HL1	HH1
能量比/%	96.241 3	1.054 0	0.415 4	0.259 5	0.647 5	0.378 7	0.139 6	0.323 7	0.170 0	0.093 8	0.152 7	0.093 9	0.029 9
各分辨率高频子带	1.728 9				1.165 8			0.587 5			0.276 5		
能量比之和/%													

图 2 Lena 图各小波子带能量比统计

综上所述,可以看出在图像编码中利用人眼的视觉掩蔽效应,可以在主观感觉图像失真相同的条件下允许更大的实际失真,根据 Shannon 率失真理论采用更低的编码比特率而使图像的主观质量保持不变。以图 4 中的两幅图像为例,从主观视觉效果来看,这两幅图像几乎一模一样,分辨不出有什么差别。然而,客观上图 4(b)是上述进行四级小波变换 Lena 图的完全重建图像,而图 4(a)是舍去最后一个高频子带 HH1 的重建图像。图 4(a)重建所用的小波系数只占全部小波系数的 3/4。尽管两幅图像在客观上相差很大,但是从主观视觉上人眼已经无法区分它们质量的好坏。



图 4 人类视觉特性演示

本文正是利用人类视觉系统对于图像主观质量的掩蔽效应,并结合小波变换特性,对一般的 ROI 渐进图像传输算法提出了改进。在图像渐进传输过程中,首先将视觉上重要的 ROI 小波系数进行优先传输,当 ROI 图像达到要求的主观质量时,就停止对 ROI 图像小波系数的传输,而开始传输背景图像的小波系数。目的在于不影响 ROI 图像主观视觉效果的前提下,用有限的带宽去改善背景图像质量,从整体上提高图像的主观视觉效果。

## 4.2 背景分等级扩展渐进传输

在一些特定的应用领域,用户可能在获取要求质量的 ROI 图像之后,不一定对整个背景图像的重视程度一样,可能围绕 ROI 周围的背景信息更加重要。比如医学图像,医生除了对病变区域比较感兴趣以外,对病变周围的图像内容要比图像边缘的内容更加感兴趣。尤其在低比特率的情况下,如果以整个背景作为整体进行图像传输,用户可能在一段时间内看到的背景图像非常模糊,且能明显感觉到在 ROI 边界有质量跃迁<sup>[8]</sup>,这极大地影响了图像的整体视觉效果。

为了解决以上所述的问题,本文提出了一种更加灵活的背景传输机制,即背景图像以一定的扩展半径围绕 ROI 分级渐进传输,并引入扩展因子  $S(S \geq 0)$  用来控制背景的分等级扩展传输。扩展因子  $S$  与 ROI 的受关注程度和网络带宽情况有一定的关系,一般来说 ROI 对用户越重要, $S$  越小;网络带宽越大, $S$  也应越大。

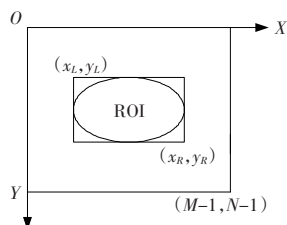


图 5 矩形和椭圆形状的 ROI 表示

为了方便 ROI 掩模的产生,一般基于 ROI 的渐进图像传输方法都只考虑矩形和椭圆的 ROI,这里也只考虑这两种形状

的 ROI,并针对这两种形状对扩展因子进行定义。分别用  $(x_L, y_L)$  和  $(x_R, y_R)$  代表 ROI 左上角和右下角的坐标,对于椭圆形 ROI,这两个坐标分别为包含椭圆最小矩形的左上角和右下角坐标,如图 5 所示。并且定义  $a = \min(|x_L - x_R|, |y_L - y_R|)$ ,  $b = \max(|x_L - x_R|, |y_L - y_R|)$  为矩形或椭圆的短直径和长直径。这样扩展因子  $S$  的计算公式如下:

$$S = \frac{d-a}{a} \quad (4)$$

上式中的  $d$  为一级背景扩展后的短直径。由上式可知,当以整个背景作为整体时, $S$  取得最大值  $S_{\max}$ 。 $S_{\max}$  的计算还与 ROI 在图像中所处的位置有关,因为当背景图像任何一边扩展到原始图像的边缘时即达到最后一级的扩展,就以倒数第二级扩展后剩下的背景图像作为最后一级进行图像传输。 $S_{\max}$  的具体计算公式如下:

$$S_{\max} = 2\min(x_L, y_L, M - x_R - 1, N - y_R - 1) / a \quad (5)$$

其中, $M, N$  分别为原始图像的宽与高。

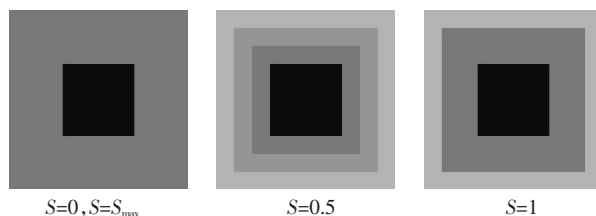


图 6 不同扩展因子产生的 BG 分级效果

图 6 展示了不同扩展因子与背景渐进传输的关系,从图中可以看出,当  $S$  越小( $S > 0$ ),背景图像分级越多。 $S=0$  和  $S=S_{\max}$  时,虽然都以整个背景图像为整体进行图像传输,但是两者是有差别的。 $S=0$  表示 ROI 图像极为重要,此时的图像传输方式和一般的感兴趣渐进图像传输方式一样:首先将全部的 ROI 系数传输完毕,然后才开始传输整个背景图像的数据。而  $S=S_{\max}$  时,首先只需传输重要的 ROI 系数,当 ROI 达到一定质量后就开始传输重要的 BG 系数。故本文所提出的背景传输机制包括了一般的 ROI 渐进图像传输算法,且提供了更加灵活的图像传输方式。

## 5 仿真实验分析

实验对上述进行 4 级小波变换的 Lena 图 ( $256 \times 256 \times 8$ ) 按照本文算法进行渐进传输,ROI 为 Lena 的脸部区域,即图像的正中四分之一部分,且为正方形,左上角和右下角坐标分别为  $(65, 65)$  和  $(192, 192)$ 。仿真实验将 Lena 图小波变换后的 ROI 和 BG 的  $(LL4, LH4, HL4, HH4)$ ,  $(LH3, HL3, HH3)$ ,  $(LH2, HL2, HH2)$  与  $(LH1, HL1)$  子带系数作为视觉上重要的 ROI 和 BG 系数,而  $HH1$  子带系数为剩余系数。实验将传统算法 ( $S=0$ ) 和改进算法 ( $S=0.5$ ) 进行对比分析。

当  $S=0$  时,图像的传输方式和一般的基于 ROI 的图像传输算法相同,首先将 ROI 系数全部传输完毕然后才开始传输整个背景图像的信息。当  $S=0.5$  时,首先都是传输 ROI 的重要系数,然而背景图像被分成两级进行传输。图 7 展示了两种算法在传输同等数据量情况下的图像渐进传输过程,并分别给出了 ROI 和 BG 的峰值信噪比 PSNR。从图中可以看出,开始阶段都是传输 ROI 的数据,然而,改进算法将视觉上重要的 ROI 数



据传输完毕,即开始进行一级背景图像传输;而传统算法则继续改善 ROI 图像以达到完全重建的水平,虽然此时两者 ROI 的 PSNR 相差很大,但从主观视觉上来看无明显区别。当改进算法的一级背景图像传输完毕, $S=0$  也已经开始传输整个背景图像的数据,只是此时 BG 的 PSNR 比改进算法要低很多,且背景图像的主观质量明显不如后者。最后,当改进算法将整个图像的重要数据传输完毕时,图像也达到了较好的整体主观效果,而此时传统算法的背景图像在某些边缘部分还比较模糊。

比较  $S=0$  和  $S=0.5$  的图像渐进传输过程,由于  $S=0.5$  优先考虑传输视觉上重要的系数,因此在传输过程中  $S=0.5$  的图像主观质量改善速度明显比  $S=0$  快。此外,在背景传输方面,因为  $S=0$  是以整个背景图像为整体进行改善,故在背景图像传输的开始阶段,图像在 ROI 边界出现尖锐的质量跃迁,而  $S=0.5$  由于采用背景分等级扩展传输,则显得平滑许多。

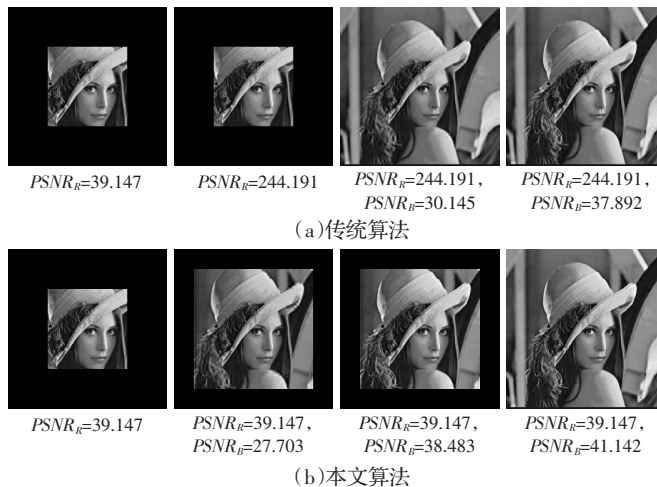


图7 两种算法的渐进图像传输比较

## 6 结束语

本文在分析了小波变换和人类视觉掩蔽特性的基础上提

出一种基于感兴趣区渐进图像传输算法,该算法在提供具有较好视觉效果 ROI 图像的同时,提出扩展因子的概念,从而可以根据应用需求对背景图像进行灵活分级扩展传输。需要指出的是本文算法一般适用 ROI 位于图像比较中间部分,如果 ROI 太靠近图像边缘则扩展因子可能失去原有的效用。与传统的算法相比,本文算法的灵活性是以牺牲算法复杂度为代价获得的,因为如果背景进行分级传输,它还需要计算背景的掩模,得出相关小波系数。总的来说,该算法有效地利用了网络带宽并节省码流,从整体上改善了图像的主观视觉效果,且在一定程度上提高了图像渐进传输的效率。

## 参考文献:

- [1] Gong W, Rao K R, Manry M T. Progressive image transmission[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1993, 3(5): 380-383.
- [2] Chitprasert B, Rao K R. Human visual weighted progressive image transmission[J]. IEEE Transactions on Communications, 1990, 38(7): 1040-1044.
- [3] Bradley A P, Stentiford F W M. JPEG2000 and region of interest coding[C]//Digital Image Computing Techniques and Applications, Melbourne, Australia, 2002.
- [4] 马义德, 陈晓雷. 一种基于小波的感兴趣区渐进图像传输算法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 42(19): 38-40.
- [5] Park K H, Park H W. Region-of-interest coding based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(2): 106-113.
- [6] Lewis A S, Knowles G. Image compression using the 2-D wavelet transform[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1992, 1(2): 244-250.
- [7] 王向阳, 杨红颖. 基于人眼视觉特性的快速图像编码算法[J]. 软件学报, 2003, 14(11): 1964-1970.
- [8] Signoroni A, Lazzaroni F, Leonardi R. Exploitation and extension of the region of interest coding functionalities in JPEG2000[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4): 818-823.
- [9] Cooperman M, Moskowitz S. Steganographic method and device: US-A, 5687236[P]. 1997-11.
- [10] Kim H J, Choi Y H. A novel echo hiding scheme with backward and forward kernels[J]. IEEE Trans Circuits Syst, Video Technol, 2003, 13: 885-889.
- [11] Lie Wen-nung, Chang Li-chun. Robust and high-quality time-domain audio watermarking based on low-frequency amplitude modulation[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2006, 8(1): 46-59.
- [12] Scok J W, Hong J W. A novel audio watermarking algorithm for copyright protection of digital audio data[J]. ETRI Journal, 2002, 24(3): 181-189.
- [13] 马翼平, 韩纪庆. DCT 域音频水印: 嵌入对策和算法[J]. 电子学报, 2006, 34(7): 1260-1264.
- [14] 马翼平, 韩纪庆. 基于能量特性分块的 DCT 域自适应音频水印算法[J]. 信号处理, 2006, 22(4): 519-522.
- [15] 项世军. 稳健音频水印研究: 音频水印抗 D/A 和 A/D 变换的研究[D]. 广州: 中山大学, 2006.
- [16] 项世军. 稳健音频水印研究: 基于时域统计特征的抗同步攻击水印[D]. 广州: 中山大学, 2006.
- [17] 王炳锡, 陈琦, 邓峰森. 数字水印技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003.
- [18] 王潇, 柏森, 袁晓芳. 基于小波变换的新颖鲁棒语音扩谱水印[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(4): 130-132.

(上接 116 页)

的攻击,特别地该算法能抵抗 DA/AD 转换和各种去同步攻击,并且能够抵抗大部分的 Stirmark 攻击,鲁棒性很强,具有一定的实用价值。

本文算法提取秘密信息时需要原始音频,属于非盲音频信息隐藏算法,应用因此有一定限制。在此算法基础上研究鲁棒的盲提取算法是下一步工作重点。

## 参考文献:

- [1] Cooperman M, Moskowitz S. Steganographic method and device: US-A, 5687236[P]. 1997-11.
- [2] Kim H J, Choi Y H. A novel echo hiding scheme with backward and forward kernels[J]. IEEE Trans Circuits Syst, Video Technol, 2003, 13: 885-889.
- [3] Lie Wen-nung, Chang Li-chun. Robust and high-quality time-domain audio watermarking based on low-frequency amplitude modulation[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2006, 8(1): 46-59.