

## 基于3维立体技术的视觉加密

孙阳<sup>1)</sup> 刘晓峰<sup>2)</sup> 王常杰<sup>2)</sup> 何达华<sup>2)</sup> 杨小康<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(上海交通大学图像通信与信号处理研究所, 上海 200240) <sup>2)</sup>(飞利浦东亚研究实验室)

**摘要** 视觉加密是新的加密研究领域,其优点是利用人眼视觉系统的特性直接对被加密的内容进行解码,而不需要用专用软件或硬件进行复杂的解密计算。近年来,由于自动立体显示技术和立体眼镜技术的发展,使得3维显示的应用日趋广泛,而传统的视觉加密方法在3维视频领域内尚无法取得令人满意的效果,因此3维立体视觉加密研究具有重要意义。为了更有效地对3维视频进行加密,利用3维显示的原理和特点,将其与视觉加密的优点相结合,提出了一种3维立体视觉加密新方法,该方法利用人眼视觉特性中的视差特性将隐藏信息巧妙地隐藏在右视图中,实验结果表明,该方法是有用的。

**关键词** 3维显示 视觉加密 自动立体显示技术 立体眼镜

**中图分类号**: TP309 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)10-1786-04

### A Novel Stereo Visual Cryptography Scheme

SUN Yang<sup>1)</sup>, LIU Xiao-feng<sup>2)</sup>, WANG Chang-jie<sup>2)</sup>, HE Da-hua<sup>2)</sup>, YANG Xiao-kang<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Institute of Image Communication & Information Processing, Shanghai 200030)

<sup>2)</sup>(Philips Research East Asia)

**Abstract** Autostereoscopic technology and shutter glasses have been applied in many areas. 3D images can be perceived based on the principle of HVS(human visual system), which is also the foundation of visual cryptography. However, the traditional method of visual cryptography cannot achieve satisfactory result because of new features of 3D video technology. In this paper we proposes a new method of visual cryptography combined with the characteristic of 3D video display, which takes the advantage of disparity in HVS to hide the secret information in right image. Simulation results confirm the validity of the proposed method.

**Keywords** 3D display, visual cryptography, autostereoscopic technology, shutter glasses

## 1 引言

视觉加密是一个加密的新领域,Naor和Shamir在1995年首次提出了这一概念<sup>[1]</sup>,它是指被加密的内容在不借助任何其他软硬件的情况下,由于利用人眼视觉系统的特性即可自然解码,因此这种方法不需要进行复杂的解密计算。视觉加密的基本原理是将需要隐藏的信息放在不同的图片中,这样的过程叫做信息分享,而单独获得其中一张图片不能提取有用的信息,但如果把这些信息分享的图片以一

定的规律放置在一起,那么利用人眼视觉系统的特性,隐藏的信息就能自然地显露出来<sup>[2]</sup>。最简单的例子是,如图1(a)的隐藏信息被分享到图1(b)和图1(c)中,输出的隐藏信息如图1(d)所示。

由于同样的图案被按像素分享到两张图片中,因此解码后的图像是原始图像宽度的2倍。这种效果称为像素扩展<sup>[3]</sup>。对于不同的算法和分享图片,有时这种像素扩展效应甚至会达到多倍以上。这对于信息的隐藏是很不利的。目前视觉加密的另外一个不足之处是,由于只有把不同的分享图片放置在一起,才能获得解密效果,所以视

收稿日期:2007-06-08; 改回日期:2007-06-18

第一作者简介:孙阳(1983 - ),男,2005年毕业于上海大学,现为上海交通大学研究生。主要研究方向为3维视频处理。E-mail: ysunqq@hotmail.com

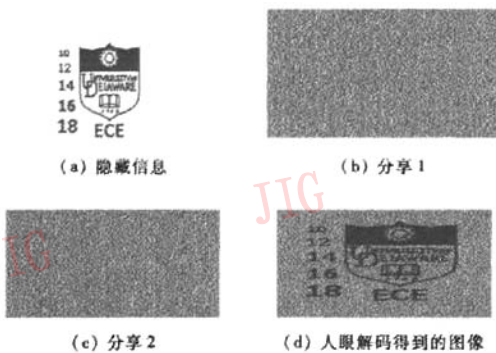


图1 视觉加密示意

Fig. 1 Show of the visual cryptography

视觉加密的像素扩展效应通常会导致分享视频质量的下降。视觉加密的目的是为了将得到的分享图片放置在一起以便能获得隐藏信息,而分享图片本身是没有价值的。

随着3 维视频技术的发展,如何利用3 维视频提供的更丰富的信息以及如何3 维视频或图像中进行信息隐藏将受到越来越多的关注。当3 维显示技术普及之后,视觉加密会有更多的研究和应用价值,比如商标内嵌、版权保护等等。视觉加密的多图片信息共享与3 维显示技术对不同视角的要求使两者有很好的结合点。除了3 维显示技术以外,现在处于研究领域前沿的多视点视频编码(multiview video coding, MVC)也可以为视觉加密的发展提供新的空间。

由于前述的各种缺点以及3 维显示固有的特点,致使传统的2 维图像中的视觉加密无法适应3 维技术更深层次的要求。本文提出了一种基于3 维立体显示的视觉加密方法,该方法根据3 维图像的显示原理,对2 维视觉加密进行了改进,不仅平衡了前述在视觉加密中存在的分享图片质量与隐藏信息像素扩展效应之间的矛盾,而且为视觉加密在3 维技术领域的应用做了初步的探索。实验结果表明,本文的新方法能够取得较好的加密效果。

## 2 立体视觉加密

### 2.1 立体视觉基本原理

深度信息是人们对3 维感知的最重要线索之一。众所周知,人脑是通过对物体的深度线索进行处理形成对3 维世界的感知。大家知道,人类左右

眼的视差是深度信息的主要来源,这是产生立体视觉的基本原理,其是通过将有视差关系的左视图和右视图单独输入到左眼与右眼,使人脑形成对图像的立体感觉,这也是2 维视觉加密技术无法直接应用到3 维显示领域中的原因。如果能通过某种算法把隐藏信息放置于左视图或右视图中,并且从其中之一的图片无法辨别隐藏信息,只有将对应的左视图和右视图放置在一起,分别让左眼和右眼感知,再通过人脑的合成作用,使人们在看到立体图像或视频的同时,也能自动解码隐藏信息,就能实现在3 维图像中隐藏信息的目的。

### 2.2 立体视觉加密算法

如前文所述,左视图、右视图和深度信息构成了立体视觉的基础,因为由左视图和右视图可以通过计算生成深度信息。同样的,由左视图和深度信息也能生成右视图。本算法主要利用将隐藏信息置于深度图中的方法,经过对左视图和深度信息的处理和计算生成右视图,并完成视觉加密的过程。

在3 维立体视觉中,左视图和右视图都是包含颜色信息的普通图片或视频,而深度信息是一张256 色灰度图,每个像素的亮度值由8bits 表示,并且与2 维图像一一对应,0 到255 代表了对应点上的2 维像素和人眼的相对距离。本文中,0 即黑色,代表离人眼最远,255 即白色,代表离人眼最近。

如何获知隐藏信息在深度图中的位置是本算法主要的研究对象。由于深度图和2 维图的每个像素之间有密切的关系,因此隐藏信息的位置主要由对应的2 维图像决定。如果把隐藏信息放在2 维图像纹理较为简单的部分(如颜色相对单调的背景处),则由于无法引起双眼的视差,从而导致不能形成立体视觉,同时也给隐藏信息的识别带来困难。此外,尽管前景能形成更大的视差,但由于前景本身已经具有一定的深度,因此在选择隐藏信息嵌入位置的时候需要优先考虑的是隐藏信息的深度与周围图像深度的差别,以便更容易地形成立体视觉。由于图像的背景一般不具有深度信息(深度接近或等于零),因此本文选取图像背景作为主要的研究对象。

本文提出了一种根据水平方向纹理复杂度决定隐藏信息嵌入位置,进而实现立体视觉加密的方法。根据人眼的视觉特性,由于人眼对水平方向上的变化比对垂直方向上的变化更加敏感,因此水平方向的纹理复杂度可以作为一个重要的参考标准,而常用的估算纹理复杂度的方法是计算水平方向梯度。

本文采用 Sobel 算子计算水平方向梯度。

设原图像矩阵为  $H$ , 经过处理后的矩阵为  $\hat{H}$ , 图像矩阵中的数据都是原图像的亮度值。Sobel 算子为

$$S = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

可通过对  $H$  中的像素进行卷积运算来得到  $\hat{H}$ , 即

$$\hat{H} = H \otimes S \quad (2)$$

由此可生成一张新的梯度图(边缘像素值由原图对应位置的像素代替), 并计算与隐藏信息大小相同(本文中隐藏信息大小为  $64 \times 64$ )的方格内不等于 0 像素的数量, 记为  $C_{a,b}$ , 其  $C_{a,b}$  最大的估计为纹理复杂度最大处。

在计算出隐藏信息的放置位置后, 就可以利用左视图和深度信息生成右视图。根据左视图, 在原始位置的基础上利用深度信息对对应像素进行偏移的计算, 这样就能通过最简单的方法生成右视图。

如图 2 所示,  $P$  是空间中任一点,  $Z$  代表  $P$  点相对摄像机的深度,  $f$  是焦距,  $c_L$  和  $c_R$  分别是左摄像机和右摄像机在  $ZX$  平面上的投影点。  $t_x$  是摄像机之间的  $x$  方向距离。  $P$  投影到成像平面上的点分别为  $(x_L, y)$ ,  $(x_C, y)$  和  $(x_R, y)$ 。由图 2 所示的几何关系可以得到以下公式<sup>[3]</sup>:

$$x_L = x_C + \frac{t_x}{2} \frac{f}{Z} \quad (3)$$

$$x_R = x_C - \frac{t_x}{2} \frac{f}{Z} \quad (4)$$

由式(5), 式(6)可得

$$d = x_L - x_R = t_x \frac{f}{Z} \quad (5)$$

$d$  是视差,  $f$  是焦距, 为不失一般性, 这里  $f$  的取值为 1。

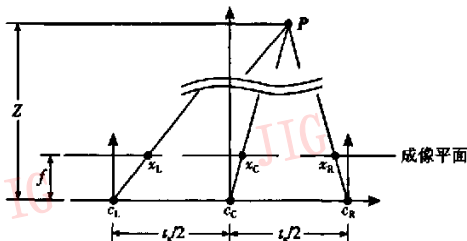


图 2 生成立体图像对的摄像机设置<sup>[4]</sup>

Fig. 2 Camera Configuration used for generation of virtual stereoscopic images<sup>[4]</sup>

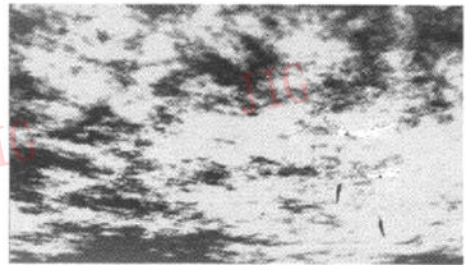
由式(5)并根据自己的需要调整  $t_x$  的值, 就可以在已知左视图或右视图的情况下, 通过相对的深度信息, 计算像素偏移从而得到另外一张视图。

在计算中, 部分像素经过偏移, 会使这些像素点附近出现空洞, 这主要是由于前景遮挡后景所造成的<sup>[4]</sup>。本论文在填补空洞的时候仅采用最简单的方法, 即用邻近像素值代替。

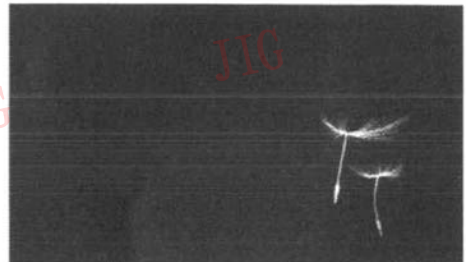
尽管在最终得到的右视图中包含有隐藏信息的内容, 但因为像素的原始位置来自于左视图, 所以无法仅仅通过右视图还原出隐藏信息。但只要通过佩戴特殊的立体眼镜观察左视图和右视图, 就能达到对隐藏信息解密的目的。

### 3 实验结果

为验证本文方法的效果, 从一段 3 维视频序列中取出一帧作为实验对象进行了加密实验, 实验对象包括一张 2 维图片和对应的深度信息, 分辨率均为  $960 \times 540$  pixels (图像来源为飞利浦东亚实验室 3 维显示器的广告视频中的一帧, 如图 3(a) 和图 3(b) 所示)。在深度信息中, 计算出水平纹理复杂度最大的位置, 然后在该位置处插入要隐藏的信息(大写 K)。处理后的图像如图 4 所示。



(a) 2 维图片



(b) 2 维图片对应的深度信息

图 3 2 维视频中的一帧及其深度信息

Fig. 3 One frame from video and its depth map

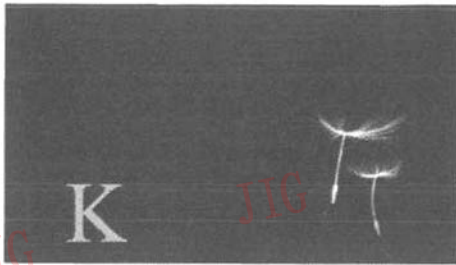


图 4 加入了隐藏信息后的深度图

Fig. 4 Depth map added the secret image

接着,可借助 2 维图像和深度信息,通过像素偏移的计算来生成右视图(如图 5 所示)。由图 5 可以看出,仅仅通过右视图无法获得完整的隐藏信息,但是若佩戴特殊的立体眼镜,那么人眼就可以清楚地观察到隐藏信息。

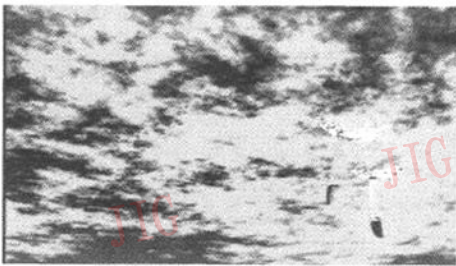


图 5 通过计算生成的右视图

Fig. 5 The generated right image

## 4 结 论

3 维显示技术是一种具有广泛应用前景的技

术,而把视觉加密应用到这个领域更是一种全新的尝试。由于隐藏信息要求具备 3 维显示设备才能清楚地被人眼识别,因此当 3 维显示技术普及之后,视觉加密会有更多的研究和应用价值,比如商标内嵌、版权保护等等。视觉加密的多图片信息共享与 3 维技术对不同视角的要求使两者有很好的结合点。除了 3 维显示技术以外,现在处于研究领域前沿的多视点视频编码也可以为视觉加密的发展提供新的空间。

本文仅对 3 维显示技术在视觉加密方面的应用做了初步的探索和尝试,并描述了借助 3 维显示设备观察到的现象,但在对隐藏信息的保密性和抗破坏性方面仍有很多工作要做,这也是今后研究的重点。

## 参考文献 (References)

- 1 Naor M, Shamir A. Visual cryptography [A]. In: Proceedings of Advances in Cryptology EUROCRYPT' 94 [C], Berlin, German, 1995, 950: 1 ~ 12.
- 2 Youmaran R, Adler A, Miri A. An improved visual cryptography scheme for secret hiding [A]. In: Proceedings of 23<sup>rd</sup> Biennial Symposium on Communications [C/OL], <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freecabs.all.jsp?arnumber=1644637>. 2006; 340 ~ 343.
- 3 Zhou Zhi, Arce Gonzalo R, Crescenzo Giovanni Di. Half-tone visual cryptography [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(8): 2441 ~ 2453.
- 4 Zhang Liang, Tam Wa James. Stereoscopic image generation based on depth images for 3D TV [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2005, 51(2): 191 ~ 199.