

·信号与信息处理·

数字全息光电再现实像与人的交互

于瀛洁, 李雨浪, 郑华东

(上海大学精密机械工程系, 上海 200072)

摘要:为了提高交互的自然性, 提出用正交双目摄像机检测空间中的手指作为输入, 引导全息影像显示的交互方法. 在介绍交互原理的基础之上, 分析了手指运动和像的变化, 建立了两者的映射关系. 在交互的实现上, 通过计算全息预先得到场景的数字全息图序列, 然后根据检测到的手指信息加载相应的全息图进行光电再现, 即可达到数字全息光电再现实像的动态交互显示的效果. 最后, 孔雀全息再现实像与人的交互实例验证了提出方法的有效性和可靠性.

关键词:交互; 数字全息; 光电再现实像; 手指

中图分类号: O438.1; TN26

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2009)06-0061-05

Interaction between People and Opt-Electronic Reconstructed Real Images of Digital Hologram

YU Ying-jie, LI Yu-lang, ZHENG Hua-dong

(Department of Precision Mechanical Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: In order to improve the naturalness of interaction, an interaction method that uses finger detected by special orthogonal binocular cameras as an input of interactive system to guide holographic images display is proposed. After analyzing finger movement and images changes, an interaction relationship between them is established. For realizing the interaction, the digital hologram sequences should be acquired beforehand through computer-generated holograms, then the relevant holograms should be selected to reconstruct images according to finger information detected by cameras, eventually, the interaction between finger and opt-electronic reconstructed real images of digital hologram can be achieved. The proposed method is validated by an interaction between peacock images and people.

Key words: interaction; digital holography; opt-electronic reconstructed real image; finger

交互在显示技术领域一直占据着重要的位置. 从显示技术诞生之日起, 立体显示一直是其中的一个焦点. 然而, 因为技术上的限制, 目前大部分的交互都集中在人与平面显示之间^[1-3]. 随着立体显示技术的发展, 也出现了一些人与立体显示的交互, 例如文献[4]中提到的人与体积显示之间的交互. 但总的来说, 终因立体显示本身的原因, 交互的方便性与自然性受到很大的限制. 在立体显示技术中, 全息立

体显示技术是一个新亮点^[5]. 它不同于一般的显示技术, 是利用全息技术本身具有的三维特征来再现物体的立体影像的. 因此, 如果能用空气或雾气离子等特殊介质作为载体, 就可以在空间中再现物体的立体影像. 人与全息三维影像的交互, 与其他显示方面的交互必将有所不同, 因为观测者有可能沉浸在影像之中与其交互. 在交互方面, 传统的设备, 例如键盘、鼠标和操纵杆等, 不仅会影响人对像的真实

收稿日期: 2009-09-16

基金项目: 国家自然科学基金(60772124); 上海市科委国际合作项目(09530708700); 上海大学研究生创新基金(SHUCX092192)

作者简介: 于瀛洁(1969-), 女, 辽宁宽甸人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为工程中的光学检测方法; 李雨浪(1984-), 男, 陕西户县人, 硕士研究生, 研究方向为全息影像与人的交互技术.

感,也会降低交互的自然性.因此,设计一种自然、方便的交互方式十分必要.数字全息光电再现是全息立体显示的核心,文中在数字全息光电再现实像与人的交互上进行重点研究,结合计算机视觉技术捕获人的指尖运动,实现一种方便、自然的交互方式,为全息三维显示与人的交互提供理论和实验基础.另外,在虚拟现实、游戏引导等很多方面,这种交互方式也可以有很好的应用.

1 交互系统概述

数字全息光电再现实像与人的交互系统由数字全息投影系统、承载介质、交互系统 3 部分组成,如图 1 所示^[6].数字全息投影系统能够对 CCD 记录的全息图或由计算全息方法得到的数字全息图进行光电再现,并将再现的全息像投射出来.离子雾屏生成器能在空间中产生一层离子雾屏,以此作为承载介质对投射出来的全息像进行承载,使得再现出来的全息影像悬浮于空中,并尽量保持全息像的三维效果,而且影像尺寸也能达到很大.在这样的条件下,人完全可以沉浸在成像环境中与影像进行交互.在交互系统中,采用正交的双目摄像机检测手指指尖的三维空间运动,并将运动信息反馈给数字投影系统以引导离子雾屏上全息像的变化.

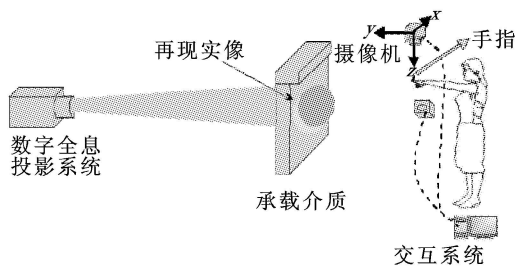


图 1 数字全息光电再现实像与人的交互系统示意图

因此,数字全息光电再现实像与人的交互问题可以归结为人的指尖运动与全息影像变化的对应关系问题.

2 交互方式的实现

主要实现了离子雾屏上的孔雀再现实像与人的交互,通过手指保持静止开启交互,然后通过手指的左

右移动控制孔雀尾巴开屏的大小.在未开启交互之前,离子雾屏上没有孔雀的光电再现实像;当手指静止一段时间后,交互方式打开,离子雾屏上出现孔雀影像,并可以与人进行交互.总的来说,实现这样的交互需要确定 3 个部分:(1)检测空间中的手指,确定交互时的手指运动方式;(2)确定再现像的变化模式;(3)建立手指运动与再现像的交互映射关系.

2.1 手指检测及运动方式的确定

采用正交的双目摄像机来检测手指的空间位置和运动,摄像机的分布如图 2 所示.顶摄像机用来检测手指的 x 方向和 y 方向移动,边摄像机检测手指的 z 方向移动,这样就可以检测手指在三维空间中的运动,为实现丰富多彩的交互模式做好必要准备.

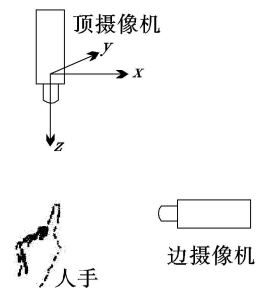


图 2 摄像机的分布示意图

数字全息光电再现系统再现的是实际光束的影像,投射在离子雾屏上还有部分光会透射和散射,造成较强的背景光.为了提高测量可靠性,采用配带标记物的方法来检测空间中的手指.实验中在操作者的手指上配带发光二极管标记物(如图 3a 所示),并在摄像机镜头上安装滤光镜,以消除环境光对手指检测的影响,采集到的图像只有发光管的图像(如图 3b 所示),便于图像处理.

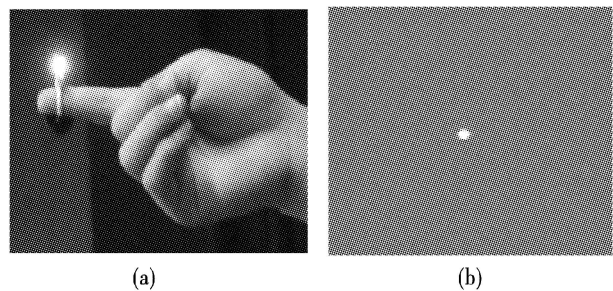


图 3 手指上的发光标记物和对应的图像

在近似情况下,可以将标记物图像的灰度质心作为指尖位置,标记物图像灰度质心可以通过下面的方法计算得到.首先,如式(1)所示,选择合适的阈值对图像进行单阈值分割

$$g(i, j) = \begin{cases} 1, & f(i, j) > T \\ 0, & f(i, j) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

其中, $f(i, j)$ 是像素点 (i, j) 处的灰度值; $g(i, j)$ 是分割后该像素点的值. 然后, 通过式(2)就可以计算出标记物的灰度质心^[7]

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n ig(i, j)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i, j)}, Y_c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n jg(i, j)}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i, j)} \quad (2)$$

其中, (X_c, Y_c) 即为标记物的灰度质心坐标; m, n 为图像的行数和列数. 用同样的方法, 可求出标记物在另一个摄像机中的位置 (X'_c, Y'_c) . 综合考虑 (X_c, Y_c) 和 (X'_c, Y'_c) 及它们随时间 t 的变化, 就可以得到手指的位置和运动信息.

为了方便, 使用手指的图像坐标值代替手指的三维坐标来进行手指的检测. 在开启交互的时候, 观测指尖在顶摄像机中的 (X_c, Y_c) 及边摄像机的 Y'_c . 随时间 t 的变化, 记为 $[X_c(t), Y_c(t), Y'_c(t)]$; 在人与孔雀光电再现实像进行交互的时候, 只需观测手指在 t 时刻的顶摄像机坐标 $X_c(t)$.

2.2 确定孔雀再现像的变化

在交互过程中, 孔雀再现像的变化可分为 2 种情况: 一种是开启交互时像的出现; 另一种是交互过程中尾巴打开的大小. 交互开始时像的出现, 可以认为是像从消隐状态变为可见状态. 将此过程用一个状态变量 p 表示, 即

$$p = \begin{cases} 0 & \text{交互未开启时, 像处于消隐状态} \\ 1 & \text{交互开启之后, 像处于可见状态} \end{cases} \quad (3)$$

交互过程中, 孔雀尾巴打开的大小可以用一个状态量 θ 来描述, θ 表示尾巴打开的角度. 当孔雀尾巴合拢时, $\theta = 0^\circ$; 当孔雀尾巴完全打开时, $\theta = 180^\circ$. 在文中, 将孔雀的开屏程度分为 10 个级别, 对应的 θ 值分别为 $0^\circ, 18^\circ, 36^\circ, \dots, 180^\circ$, 并将 t 时刻的 θ 值表示为 $\theta(t)$.

2.3 交互映射关系的建立

2.3.1 交互的开启

系统初始化后, 人与孔雀再现像的交互处于关闭状态, 孔雀像处于消隐状态; 当交互系统检测到手

指保持一段时间静止后, 交互过程启动, 离子雾屏上出现孔雀再现像. 孔雀像的出现与手指的运动存在下面的关系

$$p = \begin{cases} 0 & \text{初始化状态} \\ 1 & \text{if}(\Delta X_c(t)/\Delta t < \epsilon, \Delta Y_c(t)/\Delta t < \epsilon, \\ & \Delta Y'_c(t)/\Delta t < \epsilon) \end{cases} \quad (4)$$

其中, ϵ 表示一个足够小的正数; $\Delta X_c(t)/\Delta t$, $\Delta Y_c(t)/\Delta t$ 及 $\Delta Y'_c(t)/\Delta t$ 表示指尖的图像坐标值在一段时间内的变化量. 因此, 当指尖位置在一定时间内变化很小, 以至于可以认为是静止时, 交互过程就会被开启.

2.3.2 与孔雀的交互

在交互过程中, 顶摄像机观测手指的 $X_c(t)$ 值, 以控制孔雀开屏的大小. 当手指处在一个中间位置时, 孔雀尾巴合拢; 当手指从中间位置向左或向右移动时, 孔雀尾巴打开. 因此, 可得到如下的手指移动与孔雀开屏的交互关系式

$$\theta(t) = \text{ceil}\left(\frac{|X_c - M/2|}{\text{step}}\right) \times 18^\circ \quad (5)$$

其中, M 表示顶摄像机的图像宽度; step 为一控制手指移动幅度的常量; ceil 表示向正无穷大取整. 研究中, $M = 600$, $\text{step} = 30$.

3 交互实验

3.1 交互实验环境

为了实现数字全息光电再现实像与人的交互, 并尽量突出全息像的三维特征, 采用了如下的实验环境. 以 HOLOEYE Photonics AG 公司的一款型号为

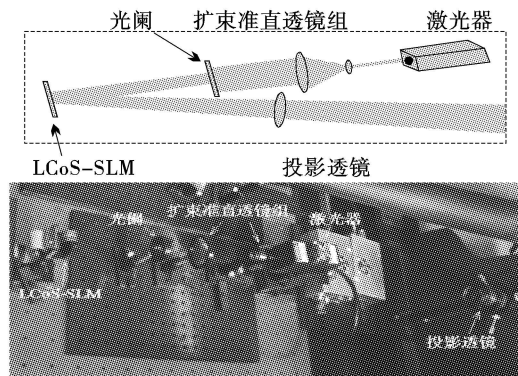


图4 光电再现系统光路图及实际照片

LC-R2500 的空间光调制器(分辨率 1 024 pixels × 768 pixels,反射模式,最大刷新速率 75 Hz)作为核心器件建立数字全息光电再现与投影系统,如图 4 所示.再现像投影到有效承载面积为 2 m × 2 m 的平面离子雾屏上(图 5 所示).这样,观察者就可以在离子雾屏上看到一个悬浮在空中的全息再现实像,产生一种身临其境的感觉,并能沉浸其中与之交互.图 6 所示为交互系统采用的正交双目摄像机.

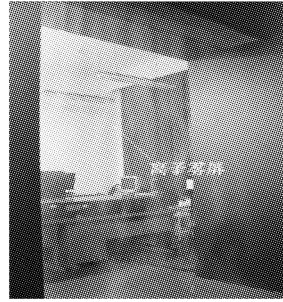


图 5 雾屏照片



图 6 双目视觉系统照片

3.2 孔雀再现像与人的交互

通过计算全息^[8]的方法得到交互过程中像的不同位置和状态的数字全息图,这是一个非常耗时的过程.为了增强交互的实时性,事先计算好交互过程中所需的孔雀 10 个状态(图 7 所示)的全息图序

列,图 8 所示为其中的一幅全息图.然后根据检测到的手指信息直接调用对应的全息图进行光电再现,图 9 为图 8 所示全息图的再现效果,这样就可以实现手指引导孔雀开屏的实时动态过程.

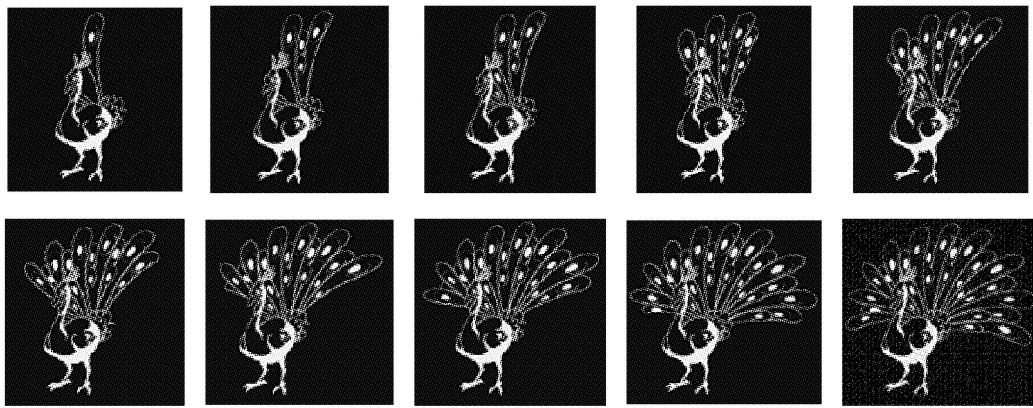


图 7 实际的孔雀序列图像

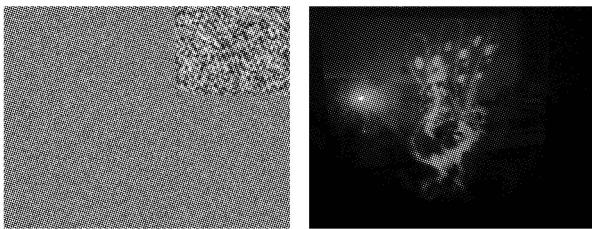
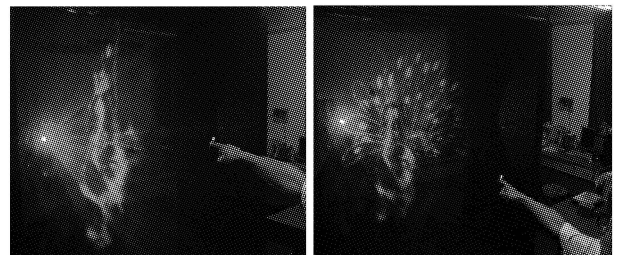


图 8 孔雀全息图序列中的一幅 图 9 图 8 光电再现结果

在交互过程中,系统通过检测静止状态的手指开启交互;通过检测手指在水平方向上的位置控制孔雀尾巴展开的大小.在未开启交互之前,离子雾屏上没有孔雀的全息影像.当手指保持 2 s 静止不动之后,系统将切换为交互状态,此时光电再现系统再现出孔雀影像,并且孔雀尾巴的打开程度会根据手

指位置的不同而不同.当手指处于顶摄像机视野的中间位置时,孔雀尾巴合拢(如图 10a);当手指从中间位置向左或向右移动时,孔雀的尾巴会随手指的移动慢慢打开(如图 10b).



(a) 孔雀尾巴合拢

(b) 孔雀尾巴打开

图 10 光电再现孔雀影像

4 结 束 语

为了实现数字全息光电再现实像与人的交互,采用正交双目摄像机检测手指的运动,以此引导全息光电再现像的显示,形成了一种自然、方便的交互模式.在分析手指运动和像变化的基础之上,建立两者的映射关系.在实现上,通过预先算好所需场景的数字全息图序列,并根据手指信息加载相应的全息图进行光电再现,达到手指引导数字全息光电再现实像实时动态显示的效果.孔雀再现像与人的交互实例,验证了所提出的交互方法的有效性和可靠性.虽然文中实验采用了可见的发光标记物,但也可以采用不可见的发光标记物,这样更具有可观性.同时就文中的交互而言,预先得到场景的全息图序列,会使再现内容受到限制,理想的方法是在检测到手指信息后,再根据此信息计算所要再现的全息图.这个问题的解决有待于新的计算全息方法的出现.

参考文献

[1] Y Sato, Y Kobayashi, H Koike. Fast Tracking of Hands and Fingertips in Infrared Images for Augmented Desk

(上接第 60 页)

成分位于脉冲的前沿,低频的成分位于脉冲的后沿,自然会导致脉冲的啁啾.反之,在正常色散区亦然.

3 结 论

通过对 ROF 系统中的调制方式跟传输的分析,得到了色散系统传输的影响.首先分析了色散的基本理论,然后描述了色散在 ROF 系统中的影响与应用分析,包括从不同的调制方式受到不同程度色散影响入手,分析了 DSB 与 SSB 调制的不同点,最终得出 SSB 调制要优于 DSB 调制的结论,分析了 ROF 系统中常用的双波长调制跟传统的单波长调制,并对二者进行了比较,还分析了色散对信号在光纤中传输的影响,导致色散制约着系统的能力.

参考文献

[1] Djafar K Mynbaev, Lowell L Scheiner. Fiber-Optic Communications Technology [M]. 徐公权.北京:机械工业出版社,2002.

[2] 查一昆,于重修,曾军英,等. ROF 系统中的色散分析

Interface[C]//Proc. of the IEEE Int'1 Conf. on Automatic Face and Gesture Recognition, 2000:462-467.

[2] S Carbini, J E Viallet, O bernier. Pointing Gesture Visual Recognition for Large Display[C]//International Conference of Pattern Recognition. Los Alamitos: IEEE Computer Society Press,2004.

[3] M S Lee, D Weinshall, et al. A Computer Vision System for On-Screen Item Selection by Finger Pointing[C]//Proceedings of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,2001: 1026-1033.

[4] T Grossman, D Wigdor, R Balakrishnam. Multi-finger Gestural Interaction with 3D Volumetric Displays[C]//Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology. Santa Fe, NM, USA, 2004:61-70.

[5] 郑华东,于瀛洁,程维明.三维立体显示技术研究新进展[J].光学技术,2008,34(3):426-430.

[6] 于瀛洁,张北晨.基于悬浮粒子幕的光电再现空间影像装置[P].中国发明专利,专利号:ZL 2007 1 0037389.7.

[7] 艾金慰,刘克.视频序列中运动目标跟踪新方法[J].北京科技大学学报,2006,28(2):195-198.

[8] G/Tricoles. Computer generated holograms: an historical review[J]. Applied optics,1987,26(20):4351-4360.

及抑制[J].现代电信科技,2007(11):19-21.

[3] SMITH G,NOVAK D,AHMED Z. Overcoming chromatic dispersion effects in fiber wireless systems incorporating external modulators[J]. IEEE Trans Theory Tech, 1997,45(8):1410-1414.

[4] 沈一春,章献民,陈抗生.基于窄带光纤光栅的微波载波单边带调制[J].电子学报,2005,33(5):871-874.

[5] 黄嘉明,陈舜儿,刘伟平,等. ROF 技术分析及其应用[J]. 光纤与电缆及其应用技术,2006(7):32-35.

[6] Al-Raweshidy, Hamed Komaki, Shozo. Radio over Fiber Technologies for Mobile Communications Networks [M]. Boston: Artech House,2002.

[7] Smith H, Dalma Novak, Zaheer Ahmed. Overcoming Chromatic-Dispersion Effect in Fiber-wireless Systems Incorporating External Modulators [J]. IEEE Transaction on Microwave Theory and Techniques,1997,45(8):1410-1415.

[8] 杨湘云,胡薇薇,徐安士.毫米波 ROF 光通信系统中信号传输色散影响的研究[J].北京大学学报(自然科学版),2006,42(3):401-405.

[9] 原荣.光纤通信[M].北京:电子工业出版社,2002.

[10] P M Morse, H Feshbach. Methods of Theoretical Physics[M]. New York: McGraw-Hil.