

基于 Kinect 的实时深度提取与多视绘制算法

王 奎, 安 平*, 张 艳, 程 浩, 张兆扬

(上海大学 通信与信息工程学院 新型显示技术及应用集成教育部重点实验室, 上海 200072)

摘要:提出了一种基于 Kinect 的实时深度提取算法和单纹理+深度的多视绘制方法。在采集端, 使用 Kinect 提取场景纹理和深度, 并针对 Kinect 输出深度图的空洞提出一种快速修复算法。在显示端, 针对单纹理+深度的基于深度图像的绘制(DIBR, depth image based rendering)绘制产生的大空洞, 采用一种基于背景估计和前景分割的绘制方法。实验结果表明, 本文方法可实时提取质量良好的深度图, 并有效修复了 DIBR 绘制过程中产生的大空洞, 得到质量较好的多路虚拟视点图像。以所提出的深度获取和绘制算法为核心, 实现了一种基于深度的立体视频系统, 最终的虚拟视点交织立体显示的立体效果良好, 进一步验证了本文算法的有效性。本文系统可用于实景的多视点立体视频录制与播放。

关键词:立体视频; 深度提取; 基于深度图像的绘制(DIBR); Kinect

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-0086(2012)10-1949-08

Real-time depth extraction and multi-view rendering algorithm based on Kinect

WANG Kui, AN Ping*, ZHANG Yan, CHENG Hao, ZHANG Zhao-yang

(Key Laboratory of Advanced Displays and System Application, Ministry of Education, School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper proposes a real-time depth extraction algorithm based on Kinect and a multi-view rendering algorithm based on single color plus depth. At the acquisition side, we acquire color information and depth information by Kinect, and present a fast inpainting algorithm to inpaint holes in depth map output by Kinect. At the display side, to solve the big hole filling problem of depth image based rendering (DIBR) based on single color plus depth format, this paper presents a DIBR algorithm based on background estimation and foreground segmentation. Experiments show that our method can get good depth image in real-time, and effectively inpaint the big holes due to DIBR, so multiple virtual view images with good quality can be got. At last we implement a multi-view stereo video system based on the depth extraction and rendering algorithm. A good stereo perception can be achieved by interlacedly displaying the virtual views on auto-stereoscopic display, which further verifies the effectiveness of our method. This system can be used to record and display multi-view stereo videos for live scenes.

Key words: stereo video; depth extraction; depth image based rendering (DIBR); Kinect

1 引 言

与传统的二维电视相比, 三维立体电视能提供更强烈的视觉冲击, 带来身临其境的视觉感受^[1,2]。

目前, 基于双目的立体视频系统在技术上已

渐成熟, 多视点立体视频系统成为研究的热点。实现多视点立体视频系统主要有两种方案^[3]: 一是采用多视方案^[4]; 二是采用“纹理+深度”基于深度图像绘制(DIBR)方案^[5]。后者相对于前者, 有数据量小、立体感可调等优点。

目前, 三维场景深度的获取主要有两种方案:

* E-mail: anping@shu.edu.cn

收稿日期: 2012-04-24 修订日期: 2012-07-22

基金项目: 国家自然科学基金(60832003, 61172096, 61171084)和上海市科委重点(10510500500)资助项目

一种是基于立体匹配算法的被动提取方案;另一种是基于深度提取设备的主动获取方案。对于前一种方案,基于区域的深度提取及其改进算法^[6,7],算法复杂性相对较低,但是获取的深度图效果并不是很好,并且受场景的影响非常大;基于全局优化的深度提取算法^[8,9],算法的复杂度非常高,获取一帧高清深度图往往需要几 min 甚至更长时间。对于后一种方案,基于 TOF 相机的 MVD 系统^[10,11],虽然可以较快提取深度图,但系统在搭建过程中需要进行一系列复杂的操作。

Kinect 是微软研发的一种可以获取场景深度的设备,可以同时采集场景纹理和深度。相对于 TOF 深度提取设备, Kinect 价格便宜,可以提取较高分辨率的深度图。但是 Kinect 提取的深度图质量较差,在遮挡区域、光滑物体表面存在较大的深度信息缺失空洞,必须进行填充修复处理。

DIBR 是基于深度的立体视频系统的关键技术,而空洞填充是 DIBR 技术中的难点,特别是针对单纹理+深度的虚拟视点生成,空洞特别大,填充难度高。通过高斯滤波平滑深度图减小空洞^[12,13],虽然可以有效减少空洞大小,但绘制出的虚拟视点中可能出现非常明显的畸变。基于图像修复算法的 DIBR 绘制技术^[13,14],虽然可以获取相对较好质量的虚拟视点,但算法复杂度高,很难应用于视频处理中。

以上方法均没有考虑视频的时域相关性。实际上, DIBR 绘制产生的当前帧空洞,在其他帧中并不一定是空洞,可利用时域相关性进行填充。因此,本文提出一种基于背景估计和前景分割的 DIBR 绘制方法,首先利用估计的背景对虚拟视点的空洞进行初步修复,然后再利用图像修复算法对剩余空洞进行二次填充。以所提出的深度提取和虚拟视点绘制算法为核心,实现了一种基于 Kinect 深度提取的立体视频系统,对真实三维场景可进行实时深度获取和裸眼立体显示,再现真实场景。

2 基于 Kinect 的立体视频系统框架

立体视频系统通常包含立体视频采集、视频编码、网络传输、视频解码、绘制与交织显示 5 部分,本文提出的基于深度的立体视频系统框架如图 1 所示。其中,编码传输可采用目前已很成熟的 H.264 视频编解码算法以及实时流媒体协议(RTSP)。本文主要对立体视频采集和绘制交织提出新的方法。深度获取模块使用 Kinect 采集立体场景的纹理信息和深度信息,并对 Kinect 输出的深度图和纹理图进行对齐裁剪、深度图修复等

处理,得到较高质量的深度图。虚拟视点绘制和交织模块以深度获取模块输出的深度图和纹理图作为输入数据,利用深度获取模块提取的深度图和纹理图,进行基于帧间背景估计的绘制,生成 8 个虚拟视点,并对虚拟视点进行空洞填充;最后进行虚拟视点交织、合成立体视并输出到裸眼立体显示器。

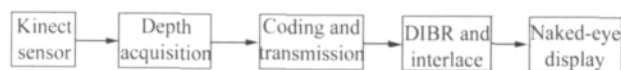


图 1 系统框图

Fig. 1 Block diagram of the system

3 深度获取算法

微软的 Kinect 传感器可以同时输出一路彩色纹理图和一路深度图,分辨率都是 640×480 。但是 Kinect 输出的深度图质量差,存在较大范围的深度值缺失,无法直接用于立体视频绘制。

经分析, Kinect 提取的深度图中的空洞主要是由于遮挡引起的,被遮挡内容大部分是场景的背景。因此,采用背景拟合结合图像修复算法对深度图进行空洞填充。根据 Kinect 输出的纹理图和深度图估计三维场景的背景纹理图和背景深度图,利用背景纹理图与当前帧纹理图区分深度图中的背景空洞和前景空洞。对于背景空洞直接用估计的背景深度图进行填充;而对于前景空洞,结合当前帧纹理图采用颜色匹配搜索算法进行二次修复。

图 2 给出了深度修复算法框图(图中 BG 表示背景),算法步骤如下:

- 1) 对 Kinect 输出的深度图和纹理图进行对齐裁剪;
- 2) 利用帧差法结合原始深度图估计背景深度图,并用步骤 4 的方法修复背景深度图;
- 3) 用背景填充算法对原始深度图进行初步修复;
- 4) 结合纹理颜色信息对深度图进行二次修复;
- 5) 对修复的空洞区域采用中值滤波去除噪声。

3.1 基于背景估计的初步修复

将第 1 帧深度图和纹理图作为场景的初始背景深度图和初始背景纹理图,然后利用帧差法结合深度值对背景进行不断更新。

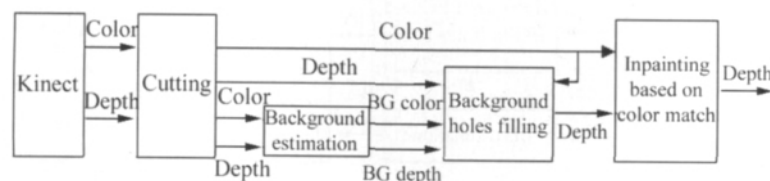


图 2 深度修复算法框图

Fig. 2 Block diagram of the depth inpainting algorithm

得到背景纹理图和背景深度图后,对深度图进行初步修复,利用背景深度值填充当前帧中处于背景位置的空洞。首先对当前帧的彩色纹理图和背景纹理图作帧差,检测出背景与前景,然后再用背景深度图填充当前帧深度图中处于背景区域的空洞。

背景深度填充的表达式为

$$\begin{cases} d_k(x, y) = b_k(x, y); \text{if } h_k(x, y) = 1 \text{ and } u_k(x, y) \neq 1 \\ d_k(x, y) = 0; \text{if } h_k(x, y) = 1 \text{ and } u_k(x, y) = 1 \end{cases} \quad (1)$$

其中: $d_k(x, y)$ 表示 Kinect 提取的第 k 帧深度图; $b_k(x, y)$ 表示第 k 帧估计的背景深度; $u_k(x, y)$ 表示根据帧差法检测出的背景更新区域和非更新区域,当 $u_k(x, y)$ 等于 1 表示是前景,否则表示是背景; $h_k(x, y)$ 表示第 k 帧深度图的空洞区域,值为 1 即为空洞像素。当且,仅当 (x, y) 处深度为空洞时并且该处是背景区域时,才进行深度背景填充。

3.2 基于颜色匹配的二次修复

经过背景深度填充算法修复后的深度图空洞已经大大减小,但是仍然存在前景空洞。本文采用可提前终止的颜色匹配搜索算法进行修复。

基于颜色匹配的搜索算法的步骤是:根据空洞处纹理图像的颜色,在纹理图像中找出最佳颜色匹配点,然后将该处的深度值作为空洞处的深度值。为提高处理速度,本算法没有采用基于块的匹配,而是直接采用基于像素的颜色匹配,通过设定匹配阈值来自动控制搜索长度。颜色匹配的计算公式为

$$\begin{aligned} M_{k,(x,y)}(m,n) &= |C_k(x,y) - C_k(m,n)|; \\ D_k(m,n) &\neq \text{hole} \end{aligned} \quad (2)$$

其中: $M_{k,(x,y)}(m,n)$ 表示第 k 帧深度空洞 (x, y) 处与非空洞 (m, n) 处颜色的匹配值; $C_k(x, y)$ 和 $C_k(m, n)$ 分别表示第 k 帧纹理图 (x, y) 和 (m, n) 处的像素值; $D_k(m, n)$ 表示第 k 帧深度图 (m, n) 处的深度值。当匹配值 $M_{k,(x,y)}(m, n)$ 小于设定的阈值,就终止匹配搜索,并将此处的深度值作为深度图 (x, y) 处深度

值。这样,虽然匹配点不一定是最佳的,但可大幅提高空洞修复速度,同时兼顾了修复质量。

基于像素的快速修复算法在修复区域会出现噪声,采用中值滤波器对修复后的图像进行去噪处理。我们仅对修复区域作中值滤波,对非修复区域则不进行中值滤波,这样一方面提高了中值滤波速度,同时也最大限度保持了原始正确的深度值。

4 基于背景估计和前景分割的虚拟视绘制算法

DIBR 绘制产生的空洞是由于前景遮挡造成的,因此虚拟视点中的空洞很大一部分是背景部分。而背景部分在三维场景中是静止不变的,可以通过深度信息估计出三维场景的背景信息。然后,利用背景信息将空洞划分为前景空洞和背景空洞。背景空洞可以直接使用估计的背景信息进行填充,而前景空洞则利用基于纹理的图像修复算法进行二次填充。

图 3 给出了本文虚拟视点绘制算法框图。实验步骤为:

- 1) 将输入的纹理图和深度图进行三维映射,得到虚拟视点的深度图和纹理图;
- 2) 将第 1 帧纹理图和深度图作为初始背景深度图和纹理图,并利用帧差法进行背景估计,得到虚拟视点的背景纹理图和背景深度图;
- 3) 对虚拟视点中的空洞进行前景和背景区分,对背景空洞使用背景直接填充修复;
- 4) 对进行背景空洞填充后的前景空洞以及背景中的原始空洞使用图像修复算法进行二次修复;
- 5) 最后对修复后的纹理图进行中值滤波去除映射和修复噪声。

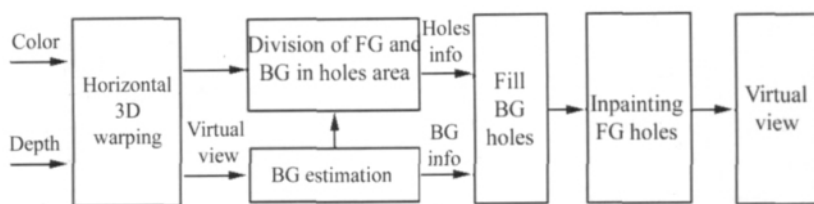


图3 虚拟视点绘制算法框图

Fig. 3 Block diagram of the virtual view rendering algorithm

4.1 三维映射

有两种方式产生立体视频的两路视点：一种是以真实视点为中心视点，通过三维映射产生左右两路虚拟视点，以生成的两路虚拟视点作为立体视频的左右两路视点；另一种是以真实视点作为左视点或者右视点，然后通过三维映射产生右视点或者左视点，以真实视点和绘制产生的一路虚拟视点作为立体视频的左右两路视点。后者在三维映射时比前者多平移1倍距离，因此会产生更大的空洞，但是有一路视点是完全无损的。实验表明^[15,16]，双目视觉更加倾向于非对称质量的立体视频。因此，本文选择后一种方案。

三维映射是指将参考视点中像素根据对应像素的深度，按照某种规则映射到其他位置的视点（虚拟视点）上。根据平行摄像机原理（如图4所示）完成三维映射。假设左视点为真实视点 (X_l, Y) ，右视点 (X_r, Y) 为映射的虚拟视点。右视点和左视点之间的映射关系定义为

$$X_r = X_l + \frac{S_x \times f}{Z} \quad (3)$$

其中： S_x 是两眼之间的距离，一般指双眼的平均距离； f 是摄像机的焦距。

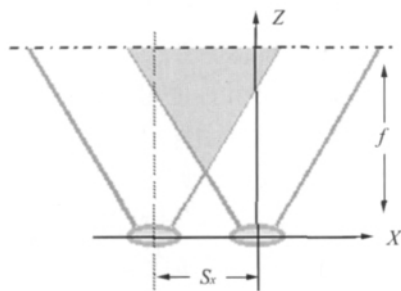


图4 平行摄像机原理

Fig. 4 Principle of binocular parallel stereo vision

4.2 空洞填充

4.2.1 空洞模型

原始视点经过三维映射后得到虚拟视点，虚拟视点中会存在大量的空洞，这些空洞是原始视点经三维映射后在虚拟视点中暴露出来的区域，如图5所示。滤波法和图像修复算法都是仅依赖原有视点当前帧的信息来填充空洞的，而原始视点中不包含这类空洞信息，因此无法用这些方法通过原始真实值来填充这些空洞。

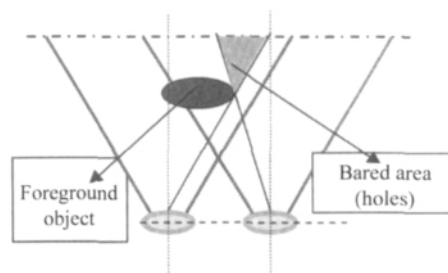


图5 空洞暴露模型

Fig. 5 Hole emerging model

由图6知，虚拟视点中的空洞是被前景遮挡的部分，可以分为两种类型，一种是被遮挡部分全是背景部分，如图6(a)所示；另一种是被遮挡部分除了背景部分，还有前景部分，如图6(b)所示。因此，不能单靠背景来填充所有的空洞。

4.2.2 背景估计

由图6(b)可知，虚拟视点中的空洞存在前景空洞和背景空洞，而背景空洞往往是空洞的主要部分。对于动态场景，被遮挡的空洞并不是在所有帧中都是被遮挡的，而是会随着前景物体的移动而暴露出来。因此，可用场景的背景修复虚拟视点中的空洞。

估计三维场景的背景是本文算法的关键步骤之一。将第1帧深度图和纹理图作为初始的背景深度图和纹理图（均指水平映射后的纹理图和深度图），采用深度图帧差法进行背景更新检测。帧差法是以

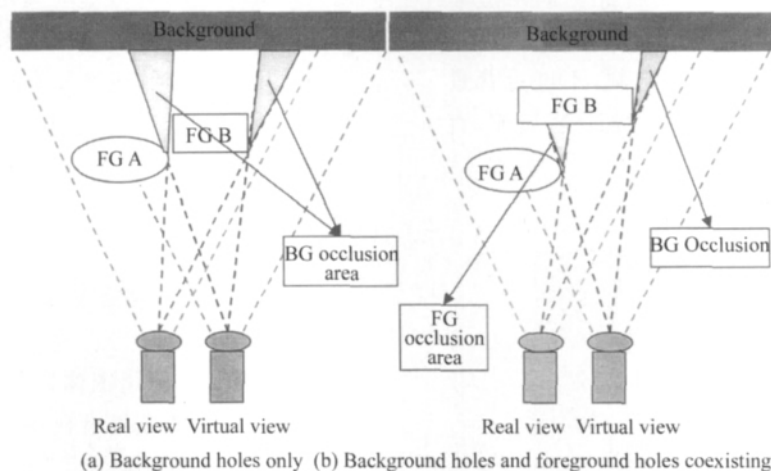


图 6 空洞类型

Fig. 6 Hole types

视频序列中相邻两帧之间基于像素的帧差区分图像中的运动部分和静止部分,有

$$D_k(x, y) = | \text{depth}_{f,c,k}(x, y) - \text{depth}_{b,c,(k-1)}(x, y) | \quad (4)$$

其中: $D_k(x, y)$ 表示第 k 帧的帧差图; $\text{depth}_{f,c,k}(x, y)$ 和 $\text{depth}_{b,c,(k-1)}(x, y)$ 分别表示第 k 帧深度图和估计的第 $k-1$ 帧背景深度图中坐标为 (x, y) 处的深度值。

背景更新的方法为

$$B_{c,k}(x, y) = \begin{cases} f_{c,k}(x, y); & \text{if } D_k(x, y) < \text{threshold}_A \text{ and } \text{depth}_{f,c,k}(x, y) < \text{threshold}_B \\ f_{c,k}(x, y); & \text{if } B_{c,k-1}(x, y) < \text{hole} \text{ and } \text{depth}_{f,c,k}(x, y) < \text{threshold}_B \\ B_{c,k-1}(x, y); & \text{if } D_k(x, y) \geq \text{threshold}_A \end{cases} \quad (5)$$

式中: $B_{c,k}(x, y)$ 和 $B_{c,k-1}(x, y)$ 表示第 k 帧和第 $k-1$ 帧的背景纹理图; $f_{c,k}(x, y)$ 和 $\text{depth}_{f,c,k}(x, y)$ 分别表示第 k 帧纹理图和深度图; $D_k(x, y)$ 表示按照式 (4) 计算得到的帧差图; threshold_A 和 threshold_B 分别是背景深度变化阈值(这里使用经验值 3)和背景深度阈值(不同场景可以设置不同的值); $B_{c,k-1}(x, y) = \text{hole}$, 表示此处背景为空洞。

4.2.3 背景空洞填充

有效地区分出前景空洞和背景空洞是本算法的关键步骤之一,通过邻域背景,匹配绝对差算法区分前景空洞与背景空洞。假设由左视点映射得到右视点,其空洞分布如图 7 所示。图中 FG_A 表示三维场景中前景物体 A, FG_B 表示前景物体 B, 前景物体 A 位于前景物体 B 的前方; BG 表示三维场景的背景区

域, H_{FG} 和 H_{BG} 分别表示前景空洞和背景空洞。

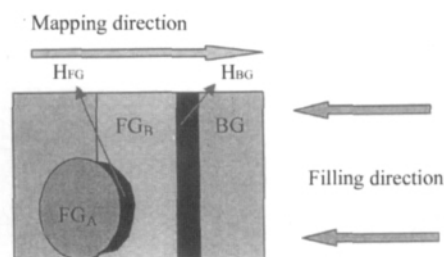


图 7 空洞分布

Fig. 7 Distribution of the holes

假设视点的映射方向是从左向右,那么空洞的填充方向则是自右向左(如图 7 所示);反之亦然。空洞填充时按照空洞填充方向扫描,直到第 1 个空洞像素(如图 8 中的 P 点)为止;接着计算此像素右边区域与对应位置背景区域的匹配程度。匹配程度使用绝对差和 SAD 表示,计算公式为

$$\text{SAD} = \frac{\sum_{\substack{F_k(i,j) \in \Phi \\ B_k(i,j) \in H}} |F_k(i, j) - B_k(i, j)|}{n} \quad (6)$$

其中: $F_k(i, j)$ 和 $B_k(i, j)$ 分别表示第 k 帧在 (i, j) 处的像素值和背景在 (i, j) 处的像素值; Φ 和 H 分别表示匹配区域和空洞区域,如图 8 所示; n 表示匹配区域中非空洞像素的个数。

如果匹配区域的 SAD 值小于某阈值(这里使用

经验值 20), 就用背景填充此行中紧挨着的空洞, 直到第一个非空洞像素值终止; 否则将此空洞两边非空洞像素的深度值作差, 如果差值大于某阈值(这里使用经验值 10), 此区域就是前景空洞, 不进行背景填充, 否则仍作为背景空洞填充; 重复上述扫描, 直到背景空洞填充完毕为止。

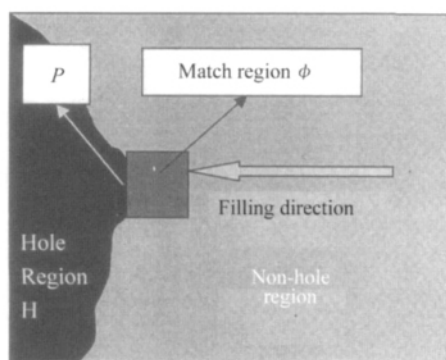


图 8 判别算法示意图

Fig. 8 Schematic diagram of the discrimination algorithm

4.2.4 剩余空洞填充

通过背景修复后, 虚拟视点中的空洞已大部分得到修复, 对于剩余空洞采用图像修复算法填充。基于纹理合成的图像修复算法^[17~19]比较适合于根据图像中已知信息填充缺失部分。Criminisi 等人^[17]提出的基于样本的纹理合成图像修复技术, 除了可以较好地修复图像中的纹理, 还可以较好保持图像中的线性结构, 同时算法简单。本文选用这种算法完成剩余空洞的二次填充。

4.3 虚拟视点交织

根据裸眼立体显示器支持的视点个数确定需绘制的虚拟视点个数, 一般需绘制 7~8 个虚拟视点。

实验所用立体显示器的分辨率为 1920×1080 , 而 Kinect 输出的深度图和纹理图分辨率远小于此分辨率, 因此需要对虚拟视点进行放大, 将分辨率提高到 1920×1080 , 然后进行立体视点交织。

5 实验及结果

为验证本文提出算法的有效性, 利用 Kinect 进行了深度提取和多视绘制实验, 并实现了基于深度的立体视频系统。

系统用 C 语言实现, 在普通 PC 机 (Intel E4800 3.0 GHz 双核 CPU, 2 G 内存) 上进行了效果和修复

速度测试, 可以实现 25~30 fps 的实时修复速度(不同场景修复速度不同), 基本满足了深度信息的实时获取。图 9 给出了修复前后纹理图和深度图的对比, 可见, 本算法有效地修复了深度图中的空洞。

图 10 是采用 DIBR 绘制出来的 8 个虚拟视点。从图可以看出, 随着基线距离的拉大, 虚拟视点中的空洞(图中黑色部分)也逐步变大。

图 11 给出了使用本文算法进行空洞填充后的 8 个虚拟视点, 较好地修复了由三维映射产生的大空洞。

图 12 给出了使用图像修复算法^[18]和本文算法对空洞进行填充的效果对比图。如红色框出部分所示, 本文算法很好地修复了因前景遮挡引起的背景空洞, 避免了一般图像修复算法在空洞前景与背景交界处的填充错误, 显著提高了 DIBR 绘制虚拟视点的质量。

图 13 给出了两个场景的虚拟视点交织后的立体视, 在裸眼立体显示器上观看的立体效果良好。

实验结果表明, 本文算法可有效修复 Kinect 输出深度图中的空洞, 得到质量良好的可用于绘制的深度图和纹理图; 对于单纹理映射引起的大空洞, 本文算法也得到了较好的修复结果。

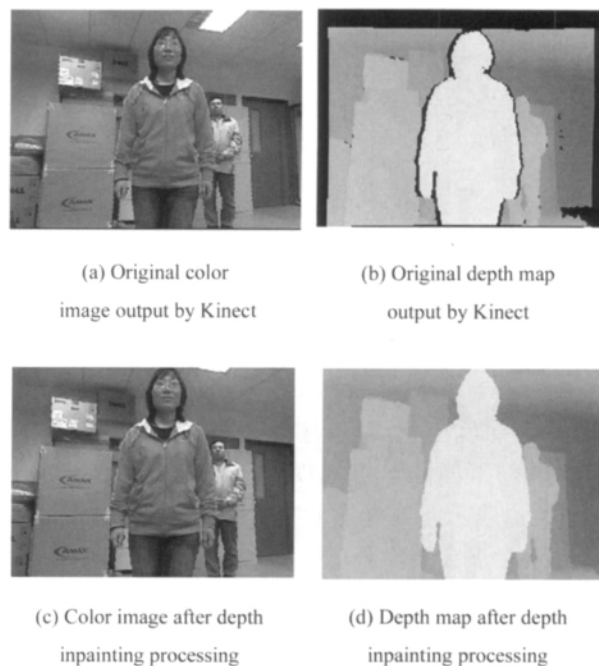


图 9 深度空洞修复实验结果

Fig. 9 Results of depth hole inpainting

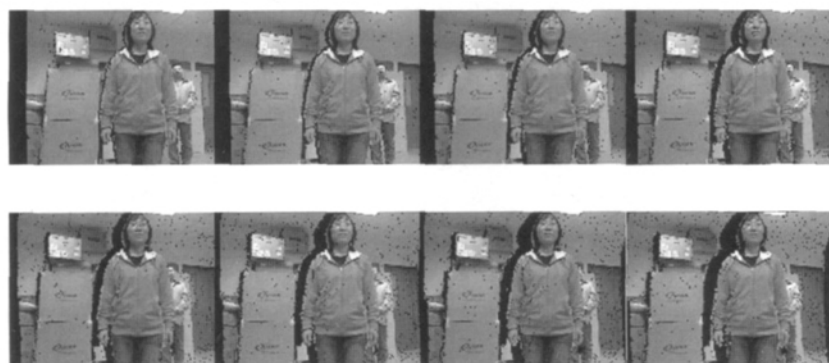


图 10 用 DIBR 绘制的基线距离为 1~8 cm 的虚拟视点

Fig. 10 Virtual views rendered by DIBR with baseline spacing of 1-8 cm

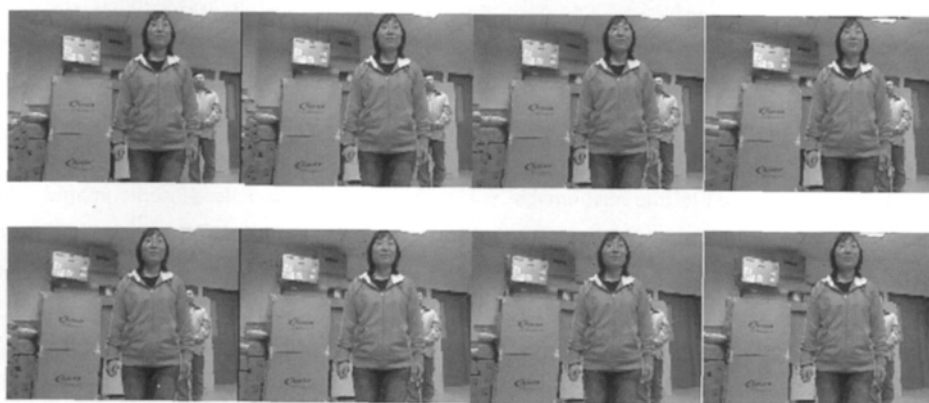


图 11 空洞填充后的 8 个虚拟视点

Fig. 11 8 virtual views after holes filling



(a) Filling holes by Criminisi's inpainting algorithm

(b) Filling holes by the proposed algorithm

图 12 空洞填充效果对比

Fig. 12 Comparison of different hole filling methods



图 13 虚拟视点交织后的立体视

Fig. 13 Stereoscopic view after virtual views interlacing

6 结 论

提出了一种基于 Kinect 的实时深度提取和基于单纹理+深度的多视绘制算法;并以本文算法为核心,实现了一种基于深度的多视立体视频系统。在采集端,采用背景修复结合空域颜色匹配,有效地解决了 Kinect 深度图的空洞问题,可以实时获取三维场景的深度信息。相对于基于深度相机的立体视频系统,建立的基于 Kinect 的系统设备价格便宜,不需要进行设备标定、图像矫正等一系列繁琐的操作就可以实时获取三维场景的深度信息。在显示端,结合背景修复和前景分割进行 DIBR 绘制,较好地解决了单路纹理+深度绘制虚拟视点的空洞问题。在以后的工作中,将考虑如何有效区分出前景空洞和背景空洞,从而进一步提高虚拟视点绘制质量。

参考文献:

- [1] ZHU Bo, JIANG Gang-yi, ZHANG Yun, et al. Virtual view rendering oriented depth map coding algorithm[J]. Jour-

- nal of Optoelectronics • Laser, 2010, **21**(5): 718-724.
- 朱波, 蒋刚毅, 张云, 等. 面向虚拟视点图像绘制的深度图编码算法[J]. 光电子·激光, 2010, **21**(5): 718-724.
- [2] ZHANG Qiu-wen, AN Ping, ZHANG Yan, et al. Multi-view depth estimation for coding an dview synthesis[J]. Journal of Optoelectronics • Laser, 2011, **22**(10): 1569-1574.
- 张秋闻, 安平, 张艳, 等. 面向编码和绘制的多视点图像深度估计[J]. 光电子·激光, 2011, **22**(10): 1569-1574.
- [3] Ismaël Daribo, Hideo Saito. A novel inpainting-based layered depth video for 3DTV [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2011, (99): 1.
- [4] Stoykova E, Alatan A A, Benzie P, et al. 3-D time-varying scene capture technologies-A survey[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2007, **17**: 1568-1586.
- [5] Smolic A, Mueller K, Merkle P, et al. Multi-view video plus depth(MVD) format for advanced 3D video systems [A]. 23rd Meeting, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T SG16 Q. 6, JVT-W100, USA: San Jose, 2007.
- [6] Collins R T. A space-sweep approach to true multi-image matching[A]. Proc. IEEE CS Conf. Computer Vision and Pattern Recognition[C]. 1996, 358-363.
- [7] Okutomi M, Kanade T. A multiple-baseline stereo[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence [C]. 1993, **15**(4): 353-363.
- [8] Kang S B, Szeliski R. Extracting view-dependent depth maps from a collection of images[J]. Int'l J. Computer Vision, 2004, **58**(2): 139-163.
- [9] Sun J, Zheng N N, Shum H Y. Stereo matching using belief propagation[J]. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, **25**(7): 787-800.
- [10] Fehn C. Depth-image-based rendering (DIBR), compression and transmission for a new approach on 3D-TV[A]. Proc. of SPIE[C]. 2004, 93-104.
- [11] Kang Y S, Ho Y S. Disparity map generation for color image using TOF depth camera[A]. 3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)[C]. 2011, 1-4.
- [12] Zhang L, Tamm W J. Stereoscopic image generation based on depth images for 3D TV[J]. in IEEE Trans. on Broadcasting, 2005, **51**(2): 191-199.
- [13] Lee P J, Effendi. Adaptive edge-oriented depth image smoothing approach for depth image based rendering [J]. Proc. of IEEE Int. Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting[C]. 2010, 1-5.
- [14] Fehn C. Depth image based rendering(DIBR), compression and transmission for a new approach on 3D-TV[A]. Proc. of SPIE[C]. 2004, 93-104.
- [15] Stelmach L, Tam W, Meegan D, et al. Human perception of mismatched stereoscopic 3D inputs[A]. Proc. of International Conference on Image Processing[C]. 2000, **1**: 5-8.
- [16] Seuntjens P, Meesters L, Ijsselstein W. Perceived quality of compressed stereoscopic images: effects of symmetric and asymmetric JPEG coding and camera separation[J]. ACM Transactions on Applied Perception, 2006, **3**(2): 95-109.
- [17] Criminisi A, Perez P, Toyama K. Region filling and object removal by exemplar-based inpainting[J]. IEEE Trans. on Image Proc. , 2004, **13**(9): 1200-1212.
- [18] Doretto G, Chiuso A, Wu Y N, et al. Dynamic textures [A]. Int. Journal of Com. Vision[C]. 2004, 91-109.
- [19] Kwatra V, Schödl A, Essa I, et al. Graphcut textures: image and video synthesis using graph cuts[A]. Proc. of ACM SIGGRAPH[C]. 2003, 277-286.

作者简介:

安 平 (1968—), 女, 教授, 博士生导师, 研究方向为图像及视频信号处理、编码及应用。