

调整量最小的多视图图像校正算法

李春华^{1,2} 尤志翔¹ 闫吉辰¹ 安平^{1,3} 张兆杨^{1,3}

(1. 上海大学通信与信息工程学院, 上海, 200072;

2. 河北科技大学信息科学与工程学院, 河北石家庄, 050051;

3. 新型显示技术及应用集成教育部重点实验室, 上海, 200072)

摘 要: 在多视自由视点电视 (FTV) 系统中, 摄像机阵列拍摄的多视视频存在垂直视差、且水平视差分布不均等问题, 严重影响合成视频的质量效果。现有的多视图图像校正方法虽然消除了垂直视差, 但是校正图像过程中引入的旋转和平移失真较大, 使人眼产生不舒适感。为此, 本文提出一种适于平行摄像机阵列的多视图图像校正算法, 首先建立理想的摄像机安放位置, 然后计算多视图图像校正变换, 将实拍图像映射到理想摄像机位置处, 得到校正后图像。在设计理想的摄像机安放位置时, 考虑人眼视觉特性, 确保坐标轴旋转和平移调整量最小化, 实现多视图图像校正变换引入图像失真总量最小。实验表明, 该算法不仅可以消除垂直视差, 而且图像校正过程中引入的失真小, 符合人眼视觉习惯, 能有效改善合成视的图像质量, 提高人眼观看舒适程度。

关键词: 三维电视; 自由视点电视; 图像校正; 摄像机阵列; 多视点图像

中图分类号: TN27 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2013)11-1495-09

The Adjustment Minimizing Multi-view Image Correction Algorithm

LI Chun-hua^{1,2} YOU Zhi-xiang¹ YAN Ji-chen¹ AN Ping^{1,3} ZHANG Zhao-yang^{1,3}

(1. School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072;

2. College of Information Science and Engineering, Hebei University of Science and Technology, Hebei Shijiazhuang, 050051;

3. Key Laboratory of Advanced Displays and System Application, Shanghai University, Shanghai, 200072)

Abstract: Multi-view images captured by camera array are widely used in Free Viewpoint Television (FTV). These manually camera set may cause vertical parallax and uneven horizontal parallax in multi-view images, which seriously affects the quality of synthesized video. A multi-view image correction algorithm for parallel camera array is presented in this paper. According to HVS characteristics, an ideal multi-camera set is designed based on the constraint of minimum adjustment. The experiments show that the algorithm can reduce the vertical parallax greatly with introducing less distortion in the corrected multi-view images. It is consistent with human visual habits and effectively improves the image quality of the synthesized video.

Key words: 3D television; Freeview Television; image correction; camera array; multi-view image

1 引言

多视视频是摄像机阵列同步拍摄同一场景获取的一组视频, 它可以用来生成不同视点的三维视频。自由视点电视 (FTV) 应用多视视频, 向观众提

供交互选择三维 (3D) 视频屏前观看视点的功能, 由此产生更加逼真的临场沉浸感。目前, FTV 成为三维视频 (3DV) 研究的新一轮热点^[1], MPEG 国际标准化组织围绕它开展了广泛的研究工作^[2-4]。

在 FTV 系统中, 由于摄像机阵列的安装及参数

调整均由人工操作控制,摄像机参数无法做到精确统一,直接拍摄的多视视频通常存在水平视差和垂直视差,且水平视差分布不均匀。FTV 系统构建通常有两种方式,一种只使用多视彩色视频,另一种使用多视彩色视频及对应的深度视频。前一种方式下,邻近的两个视视频组成一个视点视频,如果多视视频存有垂直视差,视点切换时观众会感觉到明显的跳变,引起视觉不舒适感,影响观看效果。后一种构建方式下,在接收端用彩色视频和深度视频合成虚拟中间视视频,虚拟视视频和真实视视频一起为全自动立体显示器提供多视点视频。由于深度摄像机在成本、精度方面还不尽完善,现在 FTV 系统中通常利用多视视频的视间相关性估计得到深度视频。此时,多视视频中存在的垂直视差和水平视差分布不均匀现象,使得深度视频质量降低,导致虚拟视视频质量恶化,严重影响 3DV 观看效果。由此可见,进行多视图像校正预处理,消除垂直视差,实现水平视差均等分布,对于改善 FTV 系统质量至关重要。

在双目和三目立体图像校正研究的基础上^[5,6],多视图像校逐步发展起来,并取得一些研究成果^[8-13]。图像校正,中心问题是设计一个合理的图像校正变换,将摄像机实拍图像映射到校正后摄像机图像坐标系下。理想情况下,校正后多视图像间不存在垂直视差,水平视差均等分布。按照是否使用摄像机阵列标定参数,多视图像校正方法分为未标定多视图像校正方法和标定多视图像校正方法。未标定多视图像校正方法利用各视图像特征点的对应关系计算图像校正变换矩阵,算法差异点主要在于特征点选择机制和视图像校正顺序安排不同。总体看来,这类校正方法精确度不好,进一步发展应用受到制约。标定多视图像校正校正方法利用摄像机阵列标定参数,可以准确计算图像校正变换矩阵,精确度较好。其关键环节在于校正后各摄像机坐标系的确定。不同的确定方法导致图像校正过程中引入的图像失真不同。文献[11]先确定公共基线,再确定光轴和摄像机坐标系纵轴,在校正过程中引入的图像失真较大。文献[12]分别以校正前各摄像机系坐标方向为校正后摄像机坐标系方向,逐一计算各视图像校正过程中坐标轴旋转总量,选择最小的一个作为校正后摄像机坐标

系方向。与文献[11]相比,减小了校正过程中引入的旋转失真。但是,它有以下几个方面不足:1)需要多次尝试才能确定校正后摄像机坐标系方向,计算复杂,实时性差;2)最佳的校正后摄像机坐标系方向不一定与某一个摄像机坐标系重合,因此无法保证图像校正变换引入的旋转调整量最小;3)人眼对于纵轴旋转失真最敏感,而这种方法没有考虑这一人眼视觉特性,将三个坐标轴旋转失真同一对待;4)没有考虑平移变换对图像失真的影响。

因此,本文提出一种适用于平行摄像机阵列的标定多视图像校正算法,首先依据人眼视觉特性依次对 Y 坐标轴旋转、Z 坐标轴和 X 坐标轴施加最小化调整量约束,确定各理想摄像机坐标系方向;再以各摄像机光心调整总量最小为约束,确定校正后摄像机光心;然后计算图像校正矩阵,完成多视图像校正。它能够保证校正过程中引入的旋转调整量和平移调整量都达到最小,把图像校正对多视图像质量带来的损伤降到最小。实验表明,该算法不仅可以消除了垂直视差,实现水平视差均等分布;而且在图像校正过程中引入的失真小,合成视的图像质量有明显改善,人眼观看舒适程度提高。

2 摄像机成像模型与图像校正

2.1 摄像机成像模型

假定 M 是空间中的一个物点,在世界坐标系中的坐标是 (X_w, Y_w, Z_w) , 对应的齐次坐标为 $\bar{M} = (X_w, Y_w, Z_w, 1)^T$ 。 M 在成像平面对应的像点为 m , 在图像坐标系中的坐标是 (u, v) , 对应的齐次坐标表示为 $\bar{m} = (u, v, 1)^T$ 。根据透视投影关系,场景中的物点与其像点的对应关系为:

$$\bar{m} \cong A[R \quad t]\bar{M} \quad (1)$$

式中 $[R \quad t]$ 是摄像机的外参矩阵, R 为旋转矩阵, t 为平移矢量; A 是摄像机的内参矩阵, 具有如下形式:

$$A = \begin{bmatrix} f_u & \gamma_1 & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 (u_0, v_0) 为主点坐标, f_u 和 f_v 分别为水平坐标轴和垂直坐标轴的尺度因子, γ_1 表示坐标轴倾斜因子。

由于摄像机镜头加工装配存在误差,物点实际

所成像位置与针孔模型下理想成像位置之间存在径向畸变和切向畸变误差。

忽略高阶项的情况下,水平轴向和垂直轴向的径向畸变误差和切向误差分别用(3)式和(4)式表示:

$$\delta_{ur} = 1 + k_1(u^2 + v^2) \quad (3)$$

$$\delta_{vr} = 1 + k_1(u^2 + v^2)$$

$$\delta_{ud} = p_1(3u^2 + v^2) + 2p_2uv \quad (4)$$

$$\delta_{vd} = 2p_1uv + p_2(u^2 + 3v^2)$$

其中, k_1 为径向畸变系数, p_1 和 p_2 为切向畸变系数。

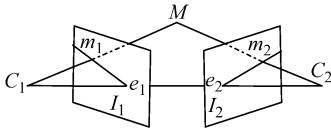


图 1 立体摄像系统几何模型

Fig. 1 Geometric model of the stereo camera system

2.2 图像校正

图 1 给出了立体摄像系统几何模型。设空间物点 M 在两个成像平面 I_1 、 I_2 中的像点分别为 m_1 、 m_2 , C_1 、 C_2 分别为两个摄像机的光心,通过 C_1 、 C_2 的直线称为基线。任何包含基线的平面称为极平面。基线与极平面的交点 e_1 、 e_2 称为极点。在像平面 I_1 中, m_1 与 e_1 确定的直线 m_1e_1 称为像平面 I_2 中的像点 m_2 在像平面 I_1 中对应的外极线。类似地,像平面 I_1 中的像点 m_1 在像平面 I_2 中对应的外极线为 m_2e_2 。

依据外极几何约束关系^[7],同一物点在不同成像平面中所成的像点,其中一个像点一定在其对应像点的外极线上。基于此,可得:

$$m_2^T F m_1 = 0 \quad (5)$$

其中 F 为基础矩阵。校正后理想的基础矩阵为:

$$\hat{F} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

相应的,依据外极约束关系,校正后图像点对应满足:

$$(H_2 m_2)^T \hat{F} (H_1 m_1) = 0 \quad (7)$$

H_1 和 H_2 分别为成像平面 I_1 、 I_2 的图像校正变换矩阵。

3 多视图图像校正方法

本文提出的标定摄像机阵多视图图像校正方法,

考虑了摄像机坐标系旋转变换对人眼视觉感受的影响,以调整量最小为约束条件,利用摄像机阵列标定参数建立校正后的摄像机坐标系;在此基础上计算各视图像素校正变换矩阵,由其控制完成多视图图像校正。

3.1 建立校正后摄像机坐标系

为了完全消除垂直视差、实现水平视差均匀分布,各个校正后摄像机坐标系方向应该一直,坐标系原点—校正后摄像机光心位置沿公共基线均等分布。考虑到人眼的视觉特性,新坐标系相对于原坐标系的旋转和平移调整量要尽可能小。相比较而言,垂直坐标轴—Y 轴旋转引起图像上下、俯仰倾斜变换更明显,人眼对此更敏感。因此,先确定校正后摄像机坐标系 Y 轴方向,再确定其他坐标轴方向更加合理^[6]。校正后摄像机坐标系水平轴—X 轴方向由公共基线确定,需要结合各摄像机坐标系原点位置确定。若先确定 X 轴,后确定摄像机坐标系光轴—Z 轴,虽然可以保证摄像机坐标系平移调整量较小,但是可能会引入额外的 X 轴旋转调整量,进而导致 Z 轴旋转调整量加大。而如先确定 Z 轴,则 X 轴方向被动决定,限制了它引入的旋转调整量,确保总体旋转量最小。因此,本文提出的算法中,按照先 Y 轴、后 Z 轴、再 X 轴的次序对摄像机坐标轴方向调整施加最小化旋转约束,从而确定校正后摄像机坐标系方向。然后以各摄像机光心到公共基线投影距离和最小为代价函数,确定公共基线位置,最后将各摄像机光心投影到公共基线上,沿公共基线间距均等地调整校正后摄像机光心,确定各校正后摄像机坐标系原点。

1) 按照先 Y 轴、再 Z 轴、最后 X 轴的顺序确定校正后摄像机坐标系方向

(1) 确定 Y 轴方向:计算校正前各摄像机坐标系 Y 轴的方向中值 y_{median} ,通过式(8)选择最接近 y_{median} 的第 k 个摄像机坐标系 Y 轴方向作为校正后摄像机坐标系 Y 轴方向。

$$k = \arg \min_n (|y_n - y_{median}|) \quad (8)$$

其中 y_n 为第 k 个摄像机坐标系的 Y 轴方向。

(2) 确定 Z 轴方向:将校正前各摄像机光轴投影到与校正后摄像机坐标系 Y 轴方向垂直的平面上,以投影向量的中值作为校正后摄像机坐标系

Z轴方向,以保证Z轴旋转调整角度最小。

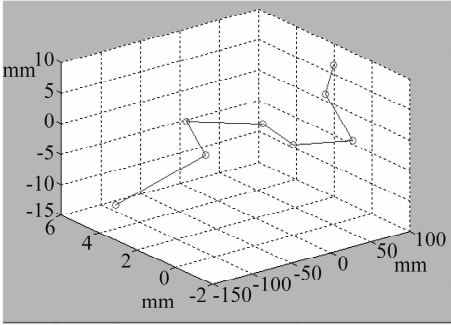
(3) 确定X轴方向:校正后摄像机坐标系X轴方向与Y轴和Z轴确定的平面垂直。

2) 确定各个理想摄像机坐标系原点

(1) 确定公共基线位置:以校正前各摄像机光心到公共基线投影距离最小为代价函数,确定公共基线位置,使摄像机坐标系在旋转调整量最小的前提下,平移调整量也最小。这样校正图像在保证旋转变形最小的前提下,平移、缩放量也尽可能小。

(2) 确定校正后基线间距:将校正前各摄像机光心投影到公共基线上,计算出两端摄像机光心投影位置之间的距离 l ,校正后基线间距为 $d=l/(n_{view}-1)$,其中 n_{view} 为视数。

(3) 确定校正后中心摄像机坐标系原点位置:选取第 m 个摄像机坐标系光心在公共基线上的



(a) 校正前视点位置
(a) The viewpoint locations before correction

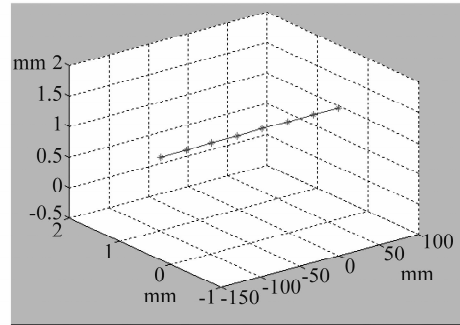
投影位置作为校正后中心摄像机坐标系原点位置

$$m = \arg \min_n \sum_{i=1}^N |C_{new,i} - C_{old,i}| \quad (9)$$

其中, $C_{new,i} = C_{new,m} + (i-m) \times d$,为第 i 个校正后摄像机坐标系原点, $C_{old,i}$ 为第 i 个校正前摄像机坐标系原点。

(4) 确定其他校正后摄像机坐标系原点位置:以校正后中心摄像机坐标系原点位置为中心,以校正后基线间距为间隔,在公共基线上设置其他校正后摄像机坐标系原点。

校正前后各摄像机坐标系位置分布如图2所示。可以看出,校正前各摄像机坐标系位置不共线,基线间距有明显差异,Y轴和Z轴朝向各不相同。校正后各摄像机坐标系位置共线,基线间距均等。这样可以保证校正后各视图间消除垂直视差、水平视差分布均匀。



(b) 校正后视点位置
(b) The viewpoint locations after correction

图2 校正前后视点位置对比

Fig.2 The viewpoint locations before and after correction

3.2 校正过程

假定 $A_{old,n}$ 、 $R_{old,n}$ 、 $t_{old,n}$ 为标定的第 n 个摄像机的内参和外参中的旋转矩阵及平移向量,世界坐标系到校正前摄像机图像坐标系的投影矩阵为 $P_{old,n} = A_{old,n}[R_{old,n} | t_{old,n}]$ 。世界坐标系与校正后中心摄像机物理坐标系之间的转换由 $H_{trans} = [R_{trans} | t_{trans}]$ 决定。一旦校正后摄像机物理坐标系方向确定下来, H_{trans} 就可确定。其中, $R_{trans} = [r_{trans1}, r_{trans2}, r_{trans3}]$, $r_{trans1}, r_{trans2}, r_{trans3}$ 分别为世界坐标系下校正后摄像机坐标系中X轴、Y轴和Z轴的方向向量; t_{trans} 为校正前后中心摄像机物理坐标系原点平移向量。校正后第 n 个摄像机物理坐标系原点 $C_{new,n}$ 确定以后,再将校正后摄像机内参统一设定为 $A_{new,n}$,就可以计算出世界坐标系到校正后第 n 个摄像机图像坐标系的投影

矩阵 $P_{new,n} = A_{new,n}[R_{new,n} | t_{new,n}]$,其中 $R_{new,n}$ 和 $t_{new,n}$ 为校正后第 n 各摄像机外参数中第旋转矩阵和平移向量

$$R_{new,n} = R_{trans}^{-1} \quad (10)$$

$$t_{new,n} = t_{trans} + C_{new,n} \quad (11)$$

在本文算法中,校正后摄像机内参数 $A_{new,n}$ 为

$$A_{new,n} = \begin{bmatrix} f_u & 0 & u_0 \\ 0 & f_v & \nu_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

其中, f_u, f_v 取为各摄像机水平焦距、垂直焦距的均值, u_0, ν_0 分别为视图像长度、宽度的一半。至此,可以得出多视图的投影矩阵:

$$T_n = P_{new,n} P_{old,n}^+ \quad (13)$$

其中 $P_{old,n}^+$ 为 $P_{old,n}$ 的伪逆矩阵。

最后,各视图在其投影矩阵控制下,投影变换到

校正后摄像机图像坐标系下,得到校正后的视图图像。

4 实验结果及分析

本文的实验平台为 8 个 Point Grey 2.0 工业相机组成的平行摄像机阵列,采集分辨率为 $1280 * 960$,帧率为 25 帧/秒,以拍摄的棋盘格标定模版图像作为测试对象。为了验证算法的有效性,分别从残留垂直视差、主观评价、图像旋转角度三方面进行验证,并与文献[11,12]中的算法进行对比。

4.1 残留垂直视差

为了评价本算法校正垂直视差的性能,以特征

点垂直视差的平均值作为评价函数:

$$f(H_1, H_2) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |(H_2 m_2) \hat{F}(H_1 m_1)| \quad (14)$$

式中, H_1, H_2 为两个校正矩阵, m_1, m_2 为两个带校正视点图像中的特征点对, \hat{F} 为理想状态下的基础矩阵。当校正准确时,评价函数取值为 0,存在校正误差时,评价函数的值表征残留垂直视差大小。

验证实验中,提取棋盘标定模版的角点作为测试像素点,以视 5 的校正图像为参考图像,分别计算视 5 图像与其他视图图像所组成的图像对残存的平均垂直视差。测试结果如表 1 所示。

表 1 校正后残存垂直视差(像素)

Tab.1 Vertical mismatch after rectification(pixel)

视点图像对	1-5	2-5	3-5	4-5	6-5	7-5	8-5	Average
文献[12]算法	0.3344	0.0702	0.0875	0.1582	0.0631	0.1453	0.2341	0.1561
文献[11]算法	0.7740	0.2682	0.1385	0.0584	0.1794	0.3837	0.5740	0.3395
本文算法	0.3305	0.0736	0.0879	0.1593	0.0622	0.1432	0.2311	0.1554

从表 1 数据可以看出,本文算法校正后的图像对之间的残存垂直视差明显小于文献[11]算法;和文献[12]算法相比,也有所降低。校正后相邻视图图像的水平视差与残存垂直视差分别如表 2 和表 3

所示,可见在三种算法中,本文算法的水平视差方差最小、残存垂直视差最小,表明本文算法校正后的多视图图像水平视差的分布最为均匀,垂直视差消除效果最佳。

表 2 校正后相邻视点图像水平视差(像素)

Tab.2 Horizontal mismatches in adjacent view images after rectification (pixel)

视点图像对	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	Variations
文献[12]算法	28.75	28.64	28.59	28.86	28.70	28.60	28.81	0.105
文献[11]算法	28.43	28.29	28.23	28.49	28.34	28.24	28.45	0.105
本文算法	28.72	28.61	28.56	28.83	28.67	28.58	28.78	0.104

表 3 校正后相邻视点图像垂直视差(像素)

Tab.3 Vertical mismatches in adjacent view images after rectification (pixel)

视点号	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	平均
文献[12]算法	0.4045	0.0176	0.0707	0.1582	0.0631	0.0819	0.0889	0.1264
文献[11]算法	0.4757	0.1301	0.1967	0.0584	0.1794	0.2037	0.1903	0.2049
本文算法	0.4023	0.0171	0.0693	0.1593	0.0622	0.0809	0.0876	0.1255

从表 3 数据可以看出,本文算法校正后的相邻视图图像之间垂直视差明显降低。从残留垂直视差来看,本文提出的算法明显优于文献[11]算法,好于文献[12]算法。

4.2 图像旋转角度

为了说明本算法校正后图像引入的旋转失真

小于文献[11]和文献[12]算法的结果,图 3 将本算法各视在校正变换中引入的旋转角度与文献[11]和文献[12]算法进行比较。

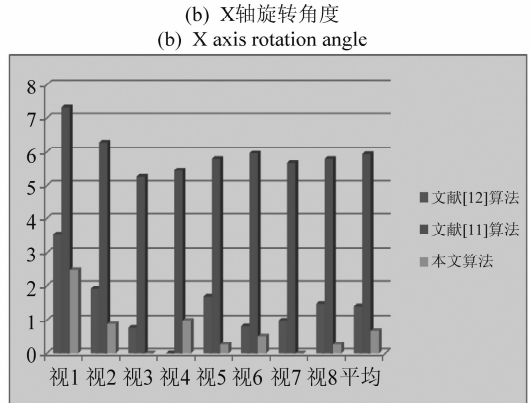
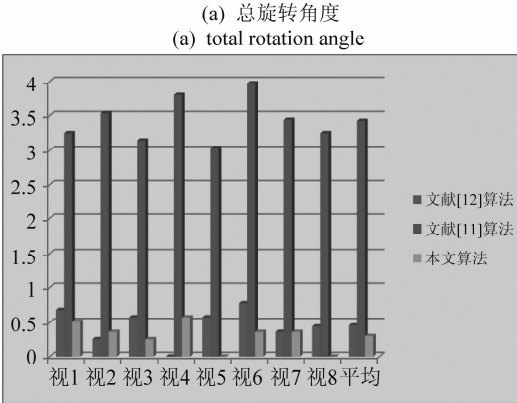
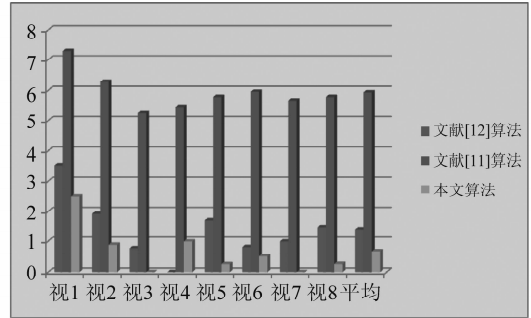
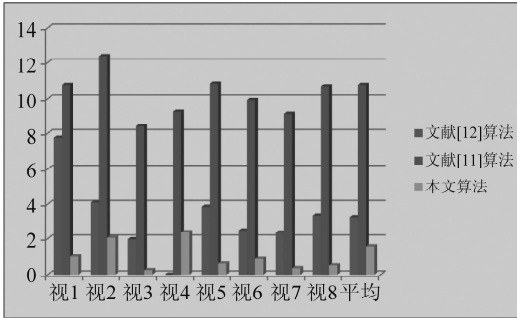
可以看出,本文校正算法各摄像机坐标系总体平均旋转角度及各轴平均旋转角度小于文献[11]和[12]算法,在校正过程中引入的旋转失真最小。这

样,图像边缘和内部因图像旋转而出现的空洞数目就会减少,合成视频保留的场景范围较大,图像校正后需要填补的空白像素较少,对提高校正速度有益。

4.3 校正后主观图像质量

本文算法以 Y 轴、Z 轴和 X 轴为序,依次施加

坐标轴旋转调整量最小化约束,与人眼视觉习惯相符,合成视图图像质量由此得以改善。图 4 为原始未校正的 8 个视的图像,第一行从左至右为视 1 ~ 视 4 图像,第二行从左至右为视 5 ~ 视 8 图像。可以看出,未经校正的图像垂直视差明显、水平视差分布不均匀。



(a) 总旋转角度
(a) total rotation angle

(b) X轴旋转角度
(b) X axis rotation angle

(c) Y轴旋转角度
(c) Y axis rotation angle

(d) Z轴旋转角度
(d) Z axis rotation angle

图 3 校正旋转角度

Fig. 3 The rotation angle induced in correction

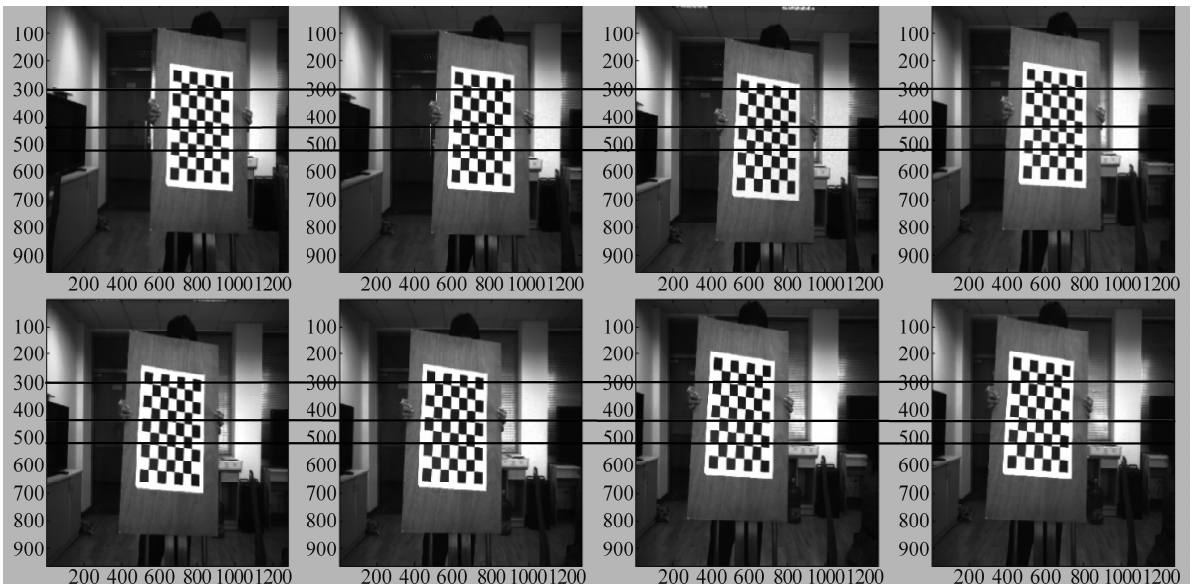


图 4 未校正图像

Fig. 4 The original view images

图 5 为用本文算法校正后的各个视的图像,可以看出校正后各视图图像几乎不存在垂直视差、水平视差均匀分布。

图 6 和图 7 为文献 [12] 和文献 [11] 算法校正后的各个视图图像。可以看出,本算法校正后图像的旋转失真明显小于文献 [11] 中的算法,比文献 [12] 算法略有改善,主要表现在本文算法校正后图像产

生的空白区域较小。为了体现本算法引入旋转失真小,能够较好保持图像中拍摄景物的垂直度,将各算法校正后图像墙柱局部细节(红圈圈出的部位)进行放大对比,如图 8 所示。可以看出,与文献 [11] 算法相比,本算法引入的旋转失真有明显改善;与文献 [12] 算法相比,本算法在保持拍摄物体垂直度方面占有优势。

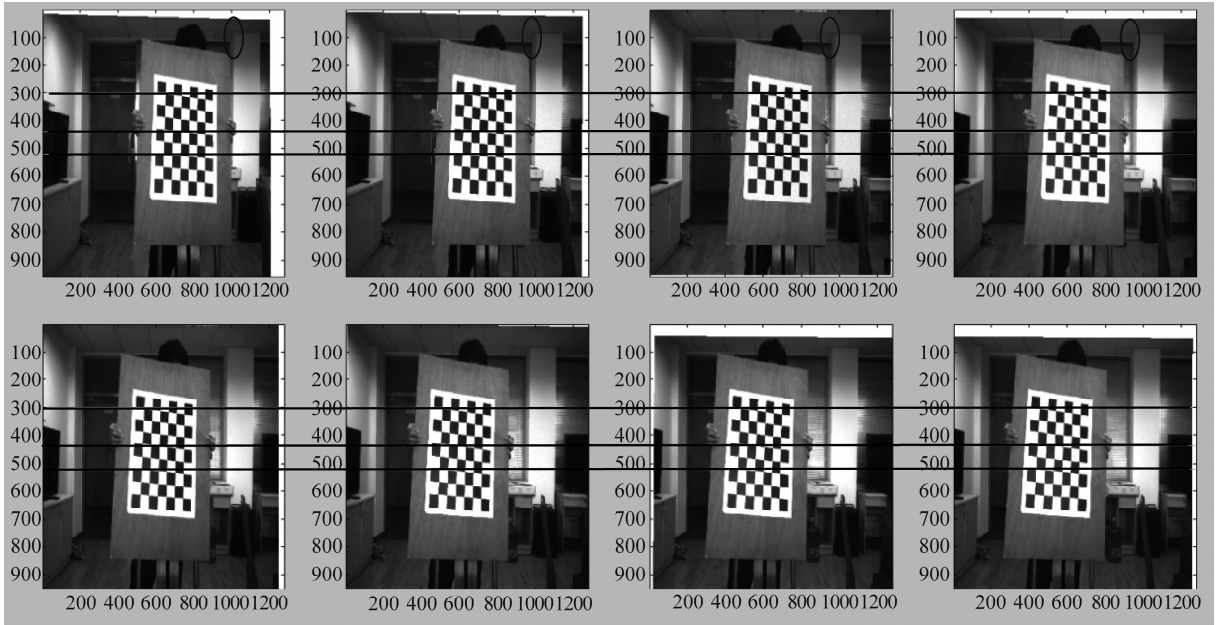


图 5 本文算法校正后各视图图像

Fig. 5 The corrected view images using the method proposed in the paper

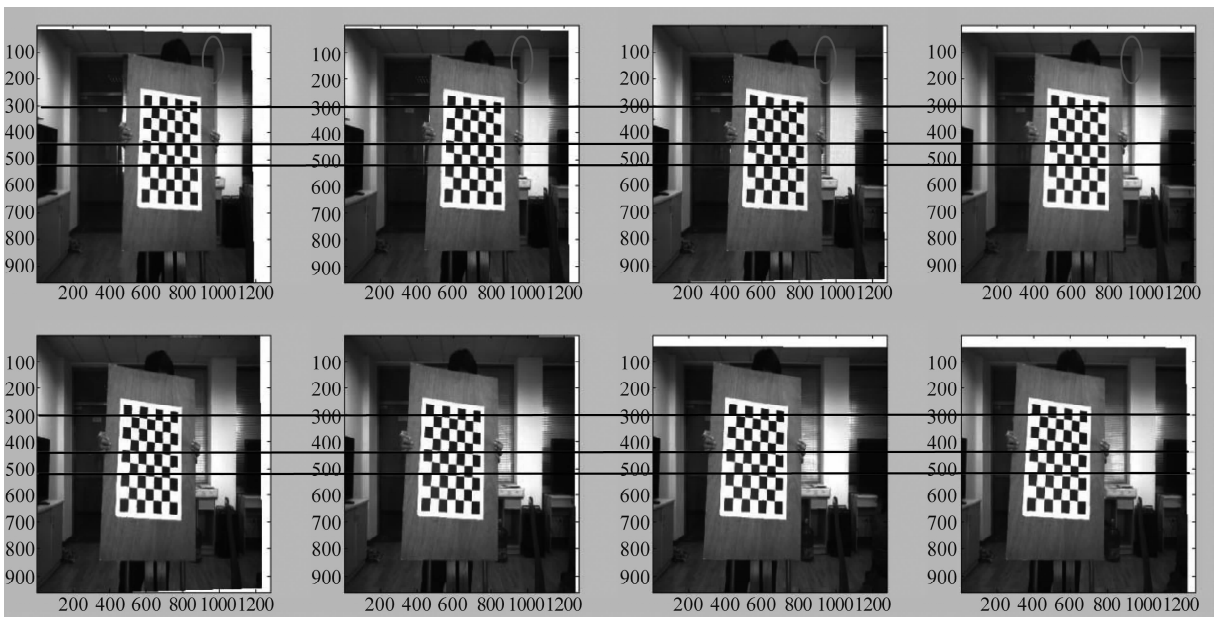


图 6 文献 [12] 算法校正后的各视点图像

Fig. 6 The corrected view images using the method proposed in [12]

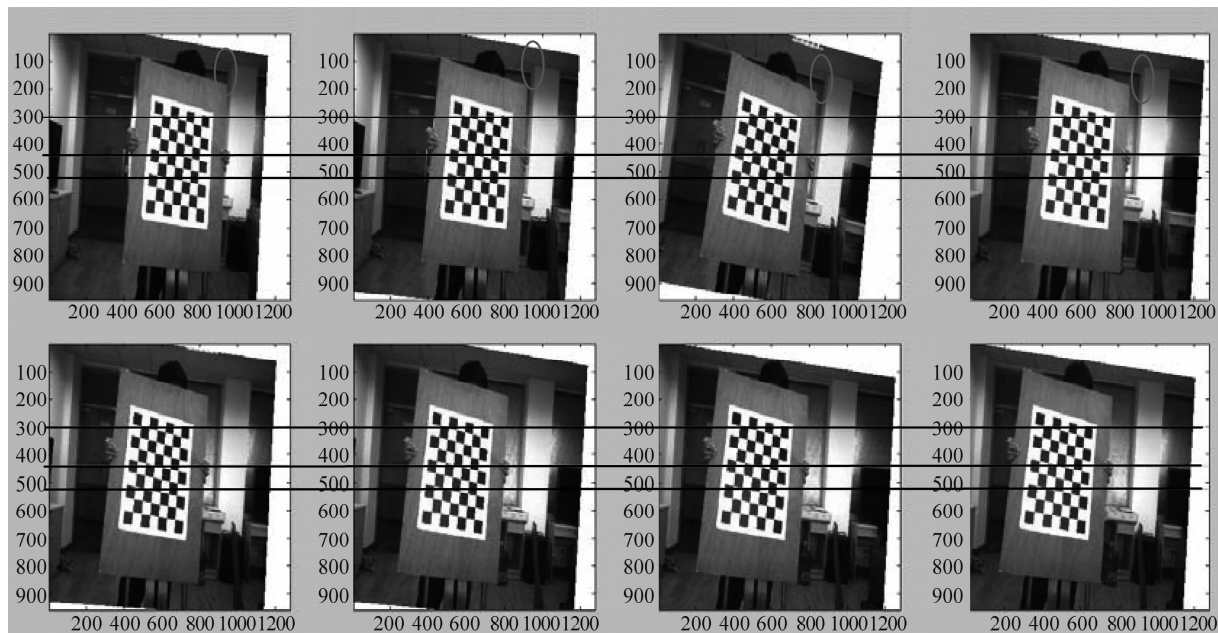
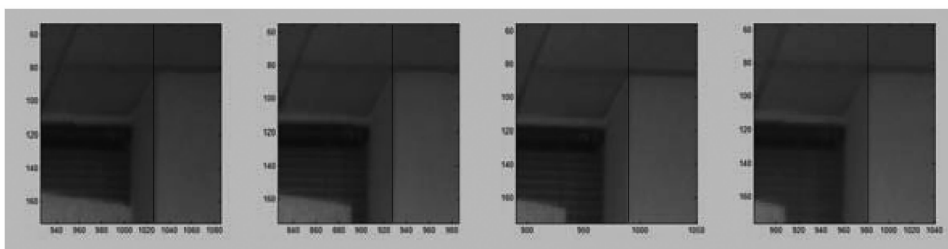


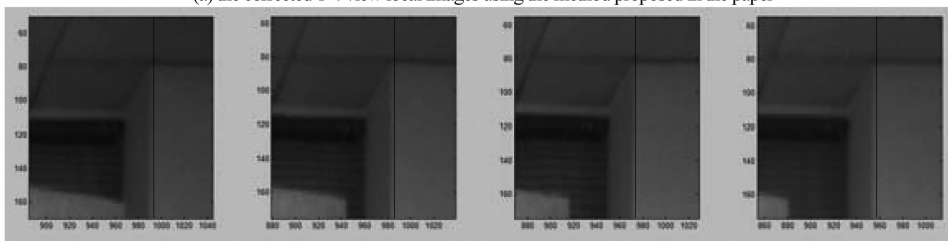
图7 文献[11]算法校正后的各视点图像

Fig.7 The corrected view images using the method proposed in [11]



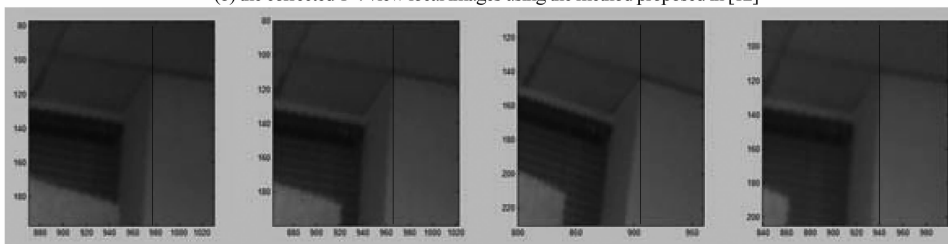
(a) 本文算法校正后1-4视图图像的局部放大

(a) the corrected 1-4 view local images using the method proposed in the paper



(b) 文献[12]算法校正后1-4视图图像的局部放大

(b) the corrected 1-4 view local images using the method proposed in [12]



(c) 文献[11]算法校正后1-4视图图像的局部放大

(c) the corrected 1-4 view local images using the method proposed in [11]

图8 校正后视图图像局部细节放大对比

Fig.8 The corrected local view images contrast

5 结论

本文提出基于平行摄像机阵列标定的多视图图像校正算法,以考虑到人眼视觉特性为指导,建立校正后摄像机坐标系。实验结果显示,该算法有效可行,校正后多视图图像基本消除相邻视之间的垂直视差,水平视差均匀分布。由于图像校正过程中,坐标系旋转和平移调整量较小,图像失真情况有所改善,合成的视点视频主管质量好。由此可见,采用本文算法进行多视图图像校正,有利于提高深度估计准确度、3D 视频编码的压缩效率以及 3D 视频显示质量。

参考文献

- [1] C. Fehn, R. Barre, and S. Pastoor, Interactive 3DTV concepts and key technologies [J]. Proceeding of the IEEE, 2006,94(3): 524-538.
- [2] Video and Requirements, Preliminary FTV model and requirement [R]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N8944, San José, U. S. A., April, 2007.
- [3] Video and Requirements, Applications and Requirements on 3D Video Coding [R]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N10857, London, UK 2009.
- [4] Teruhiko Suzuki, Miska M. Hannuksela, Ying Chen. WD on MVC extensions for inclusion of depth maps [R]. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, N12544, San Jose, U. S. A., February 2012.
- [5] N. Ayache, C. Hansen, Rectification of images for binocular and trinocular stereovision [C]. 9th International Conference on Pattern Recognition, 1998: 11-16.
- [6] A. fusiello, E. Trucco, A. Verri, A compact algorithm for rectification of stereoscopic camaras [J]. Machine Vision and Application, 2000, 12(1): 16-22.
- [7] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple view geometry in computer vision [M]. Cambridge University Press, 2003.
- [8] Y. Kang and Y. Ho, Geometrical compensation for multi-view video in multiple camera array [J]. in Proc. International Symposium on Electronics and Marine, 2008: 83-86.
- [9] Z. Yang, A. Ping, W. He, and Z. Zhaoyang, A rectification algorithm for un-calibrated multi-view images based on SIFT features [C]. International Conference on Audio Language and Image Processing, Nov. 2010:143-147.
- [10] 程明明,王贺,安平,张扬等. 基于特征点匹配的多视图图像校正 [J]. 液晶与显示, 2010, 25(4): 593-597.
Cheng Mingming, Wang He, An Ping, Zhang Yang, Zhang Zhaoyang. Multi-view Images Rectification Based on Feature

Points Matching [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2010, 25(4): 593-597. (in Chinese)

- [11] Kang Y S, Lee C, Ho Y S. An efficient rectification algorithm for multi-view images in parallel camera array [C]. 3DTV Conference: The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video, Istanbul, Turkey, 2008:61-64.
- [12] Kang Y S, Ho Y S. An efficient image rectification algorithm for parallel multi camera arrangement [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2011, 57(3): 1041-1048.
- [13] 刘利亮,安平,王贺,张兆杨. 基于公共点提取的多视图图像校正 [J]. 信号处理, 2011, 27(6): 857-863.
Liu Liliang, An Ping, Wang He, Zhang Zhaoyang. Multi-View Images Rectification based on Common Points Extraction [J]. Signal Processing, 2011, 27(6): 857-863. (in Chinese)

作者简介



李春华 女, 1974 年 5 月出生于河北。华北电力大学学士、硕士, 现为上海大学博士研究生, 河北科技大学副教授, 主要研究方向为 3D 视频处理。
E-mail: lch@hebust.edu.cn



尤志翔 男, 1983 年 2 月出生于江苏; 南京大学学士, 清华大学硕士, 现为上海大学博士研究生, 主要研究方向为 3D 视频系统。
E-mail: zhx.you@gmail.com



闫吉辰 男, 1988 年出生于吉林, 河北联合大学学士, 现为上海大学硕士研究生, 主要研究方向为多视摄像机标定及图像校正。E-mail: 441982360@qq.com



安平 女, 1968 年 4 月出生于安徽, 合肥工业大学学士、硕士, 上海大学博士, 现任上海大学教授、系主任, 主要研究方向为图像与视频处理。
E-mail: anping@shu.edu.cn



张兆杨 男, 1938 年 9 月出生于浙江。1962 年于西安交通大学无线电工程系获得学士学位, 现为上海大学教授, 主要研究方向为视频处理与多媒体通信。
E-mail: zhyzhang@staff.shu.edu.cn