

基于虚拟成像系统的文档图像矫正

张明扬, 何 飞

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093)

摘要: 由于相机成像系统中相机、成像平面、文档平面三者位姿角度的原因, 会导致相机获取的文档图像为透视投影而不是正视图, 对后期利用计算机视觉技术对文字的自动化提取与识别等处理造成消极影响从而降低文字提取与识别的准确率; 对相机成像系统进行分析, 影响相机成像的因素是数学模型下的相机的成像坐标系与世界坐标系的相互转换问题, 所以利用了相机坐标系经旋转矩阵转换的技术, 提出了一种通过旋转矩阵将真实成像相机坐标系转换为正视图的虚拟相机坐标系, 并进行图像像素点的重映射, 以实现文档图像的位姿校正; 采用双目相机进行文档拍摄实验, 结果表明该方法过程简单易行、可行性高、能有效地对文档图像进行矫正, 获得文档图像的正视图。

关键词: 成像系统; 透视校正; 旋转矩阵; 倾斜矫正; 双目成像

Document Image Correction Based on Virtual Imaging System

ZHANG Mingyang, HE Fei

(School of Optical Information and Computer Engineering, Shanghai University of Technology,
Shanghai 200093, China)

Abstract: Due to the posture of camera, imaging plane and document plane in the camera imaging system, the document image obtained by the camera will be perspective projection instead of front view, which will have a negative impact on the later processing of text automatic extraction and recognition by computer vision technology, the accuracy of text extraction and recognition is reduced. The camera imaging system is analyzed, the conversion between the camera imaging coordinate system and world coordinate system is a factor affecting the image. The principle of camera imaging system and rotation matrix is used to propose a virtual camera coordinate system which converts the real camera coordinate system into the front view through the rotation matrix, and the image pixels are re-mapped to realize the pose correction of the document image. In this paper, the document experiment is captured by using a binocular camera, the results show that the method is simple and feasible for the correction of document images, and obtains the front view of document images.

Keywords: imaging system; perspective correction; rotation matrix; tilt correction; binocular imaging

0 引言

随着科技与电子技术的发展, 信息的存储与传输更多呈现简便性与持久性, 传统的信息存储与交互难以满足当今社会生活的需要。在医疗领域 2018 年的全国总诊疗人次达 83.1 亿次, 在医疗系统中的化验单的存储与传输往往还是以纸质的形式通过医生的经验进行化验数值的判断。各企业, 高校, 政府机关的发票报销, 往往也是依赖人工进行发票信息的登记与审查核对。随着近几年的计算机视觉技术的发展, 尤其 OCR (optical character recognition) 文字识别技术, 对文本资料进行扫描, 然后运用图像处理技术对文件图像中的字符形状翻译成计算机文字。由于 OCR 技术的应用需要对应的文件图像满足一定的条件, 较高的图像质量能保证文档图像的文字识别提取的准确率。为了满足人们通过电子产品存储与传输文档, 能够以较高的准确率通过目前主流的计算机视觉技术完成将文字信息从纸

质文件转换为电子信息并能完成识别, 能够更好的利用 OCR 技术代替人们自动化地完成相关文档文件的扫描与文字提取。随着电子信息与大数据时代的来临, 将纸质文字扫描提取为电子信息的 OCR 技术的准确率要求越来越高, 尤其在医疗、文学艺术、军工业通信等领域有着广泛的应用前景。尤其计算机视觉相关的深度学习技术不断完善, 对应的网络结构与图像的特征提取网络越来越完善, 运用计算机视觉相关技术使得更多的识别、分类、检测等领域变得更自动化、智能化。进入大数据信息时代, 纸质文档存储信息的方式已经不能满足社会需求, 由于数字化存储方式存在传输方便、信息存储量大、简单便携等优点。实现文档文字信息的提取往往通过相机对文档图像进行拍摄并结合相关的计算机视觉技术进行文字的扫描提取。因此对通过计算机视觉完成对图像上的文字进行扫描与识别的相关技术研究显得尤为重要。在通过相机对相关纸质文档进行拍摄时, 存在由于拍摄位置或姿势限制导致所得图像

收稿日期: 2022-12-03; 修回日期: 2023-01-13。

基金项目: 上海市自然科学基金项目(15ZR1429300)。

作者简介: 张明扬(1998-), 男, 硕士。

引用格式: 张明扬, 何 飞. 基于虚拟成像系统的文档图像矫正[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(9): 242-246, 282.

产生畸变、倾斜等问题, 对后续文档文字的提取的精度或者准确率有一定影响, 此时对相机拍摄得到的文档图像的文字区域进行矫正, 获得矫正图像后, 运用 OCR 扫描识别技术将获得更高的准确率。

目前对因相机拍摄角度而发生的图像倾斜和畸变进行校正的方法有采用 U-net 网络进行文档分割并利用投影变换进行校正^[1], 由于神经网络需要有大量的数据集进行训练且对硬件研究较高, 此方法较为复杂。传统方法有利用 Randon 变换检测图像倾斜角度并进行校正^[2], 此方法只注重文档的倾斜, 但忽略了畸变的因素, 对后续文档的文字处理的消极影响并没有消除。2012 年, 代勒等人提出了基于改进的霍夫变换和透视变换的透视矫正技术^[3], 根据透视变换的原理进行透视图像矫正。实验结果表明, 该算法适用性较广、在目标识别等领域可以广泛应用。但该矫正技术只完成图像轮廓的矫正, 忽略了图像内部细节, 在文档矫正方面存在弊端。Daniel 等人于 2017 年通过获取图像中的失真线集合推导镜头失真模型, 利用镜头失真模型矫正图像中的失真线, 并用来估计消失点。利用消失点矫正透视畸变。该方法的核心是通过失真线计算消失点推算失真模型, 在大量计算的前提, 是能够准确的识别消失线, 因此在边缘清晰的文档图像有着有效的运用, 但对于边缘模糊, 消失线不易计算的场景难以得到有效的运用。研发一种应用范围广且有着良好的图像矫正效果的图像预处理技术为后续的文档文字扫描识别提供有利条件显得尤为重要。因此, 本文利用虚拟成像系统, 提出一种便捷不依赖于大量数据集和特定硬件的适应于普遍场景的文档图像矫正的方法。

根据相机系统成像原理, 提出了一种基于虚拟相机系统文档图像校正的方法。采用双目相机对文档图像进行拍摄, 运用亚像素角点检测技术获取文档图像角点像素坐标, 利用双目相机成像特性推算文档图像角点对应的 3D 真实坐标。通过角点 3D 真实坐标推算构造虚拟相机坐标系所需的旋转矩阵。最后, 利用虚拟相机系统进行图像像素点的重映射获得矫正图像。

1 双目相机成像原理

1.1 相机成像模型

相机的成像模型是纯粹的几何模型, 是将世界中的点投影到图像中的过程。以针孔相机成像为例。针孔本身称为光心, 图像平面位于 w 轴称为光轴^[4]。由于摄像机并非总是位于世界坐标系的原点, 光轴并非总是与 w 轴一致。为了定义一种适用于多个相机的坐标系, 通过使用坐标变换, 将世界坐标系中的点通过旋转和平移转换为相机坐标系中的点坐标。公式 (1) 中 X_{world} 为真实世界坐标系中的一点, X_{camera} 为 X_{world} 在以相机光心为原点的相机坐标系中的对应点。公式 (2) 中 R 为 3×3 的旋转矩阵, T 为 3×1 的平移向量。世界坐标系中的一点经由旋转和平移操作转换为相机坐标系中的一点。

$$X_{camera} = \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix}, X_{world} = \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$X_{camera} = RX_{world} + T \quad (2)$$

其中: R 、 T 通常称为相机外参。相机外参是由相机的摆放位姿决定。相机外参是世界坐标系中的坐标点转换为相机坐标系中对应坐标点的关键, 其中涉及的几何转换为平移、旋转。相机内参是有相机的硬件因素所决定, 涉及将相机坐标系中的点转换为对应的图像坐标系中, 其中涉及的参数有焦距, 图像中心点坐标。

如图 1 所示, 由于相机成像平面与矩形文档 ABCD 不保持平行关系, 导致经透视投影产生的图像 ($A_1B_1C_1D_1$) 与真实矩形文档不存在相似关系且位姿产生严重倾斜且可能产生透视畸变, 严重影响了图像的成像质量。该成像后的文档为后续使用产生极大的消极影响。上述的真实 3D 世界的文档成像与相机内在参数 (焦距、图像中心点坐标) 也有很大关系, 真实相机成像存在一种像素点沿图像中心点向径向逐渐偏离理想位置的径向畸变现象。该现象也严重影响后期图像目标识别的精准度, 所以通过图像处理方法获得更高图像质量的处理图像后再进行后期对文档图像进行扫描识别, 可以保证较高的准确率。

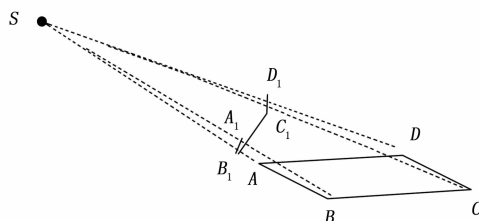


图 1 透视投影图

本文提出的方法涉及到像素以指定的映射方式重新映射并形成新的图像。由于相机在成像模型中从 3D 世界真实坐标映射为 2D 坐标, 丢失了坐标的深度。传统的单目相机无法推测图像的深度信息和 3D 坐标的还原。本文采用双目相机搭建实验环境, 并对医院取药单的随机拍摄图像进行实验验证。

1.2 双目相机模型

双目相机是通过模拟人眼, 将两个相机类似水平左右放置, 可以利用数学三角测量深度信息。理想的双目相机模型: 相机无畸变、成像平面共面、相机光轴经过成像平面中心、像平面行对齐 (物理世界中的一点投影在成像平面中的像素与投影至右成像平面的像素位置处于同一行)。双目相机的原理: 通过同步采集左右相机的图像, 计算图像间视差, 来估计每一个像素的深度。双目相机是水平上放置两个单目相机, 两者之间的距离称为双目相机的基线^[4]。双目相机的深度信息推导如下, 空间一点 P , 在左眼相机和右眼相机的成像为 P_L 、 P_R 。 P 点成像在 x 轴上的左右侧坐标为 u_L, u_R , d 表示为左右图横坐标之差, 称为视差。 b 为双目相机基线其几何关系如图 2 所示。根据 $\triangle PP_LP_R$ 和

$\Delta PO_L O_R$ 为相似三角形可得：

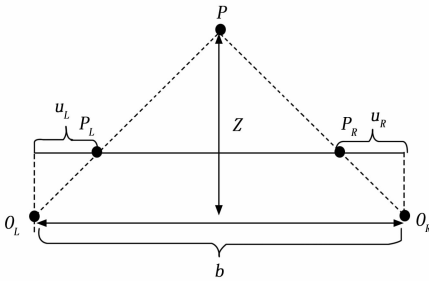


图 2 双目视觉几何模型

$$\frac{z - f}{z} = \frac{b - u_L + u_R}{b} \quad (4)$$

$$z = \frac{fb}{d} \quad d = u_L - u_R \quad (5)$$

由上述公式可知，双目相机推算真实世界坐标点的深度的关键在于双目相机左右匹配点的视差以及双目相机的内在参数。双目相机的像素点匹配便利主要在于双目相机成像特性的极限约束。

1.3 极限约束

为了获得较理想的双目相机模型，采用极限约束方法将物理世界中的一点投影在成像平面中的像素与投影至右成像平面的像素位置处于同一行。可以利用视差获得深度信息是双目相机的主要特点。为了避免双目立体匹配像素点在没有任何先验约束的情况下，在左影像中的每个像素，需要在右影像全图空间中进行搜索，这种暴力的搜索方法不仅效率非常低，而且很容易由于各种因素（如弱纹理、重复纹理等）匹配错误。双目相机中成像特性表明：其中一幅图像中的任意点，在另外一幅图像中的对应点被限制在一条直线上，被称为极限约束。极限约束的实际意义在于已知相机的内外参的情况下，沿着极线进行一维搜索，避免了传统的特征点匹配的复杂计算与匹配。

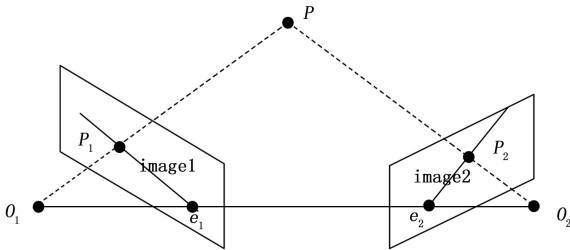


图 3 极限约束示意图

极限约束描述是当同一个点投影到两个不同视角的图像上时，像点、相机光心在投影模型下形成的约束。如图 3 所示，两个相机光心连线为 $O_1 O_2$ 被称为基线，基线与像平面 image1 和 image2 的交点 e_1 、 e_2 被称为基点；平面 $O_1 O_2 P$ 被称为极平面，极平面与像平面 image1 和 image2 的交线 $e_1 P_1$ 、 $e_2 P_2$ 被称为极线。若世界点 P （未知）在 image1 上的像点为 P_1 （已知），那么世界点 P 在 image2 上的像点必然在平面 $O_1 O_2 P$ 与像平面 image2 的交线 $e_2 P_2$ 上。为了能快速

找到左右图像的对应点需完成后续的相机立体校正保证相平面的平行，使得对应点在同一水平线上。本文利用双目相机的极线约束进行相关像素点的匹配并计算相关像素点的深度信息。

2 构建虚拟相机坐标系

本文通过分析相机数学成像模型，运用数学方法建立虚拟相机坐标系对由于被拍摄物体与摄像机成像平面不平行而导致的透视形变图像进行校正。如图 4 所示。 C_0 表示为真实相机系统， C_R 为成像平面与拍摄平面平行的虚拟相机系统。首先，定位输入图片上的文档目标并且采用角点检测方法获得矩形文档的四个角点坐标。角点是二维数字图像边缘曲线曲率最大处的对应点，它不仅保存了图像的重要特征，而且有效地降低了目标图像的数据量，提高了计算速度。角点检测可以基于图像边缘信息和基于角点检测基础的灰度信息。目前较为广泛应用的角点检测算法：harris 角点检测、Shi-Tomasi 角点检测。通过角点检测相关算法，获取图像所谓的“角点”，并对角点坐标进行排序，排除图像中间的伪角点，获得真正的文档图像的四个角点。将通过目标检测方法对图像中的文档区域标定的矩形框中心作为文档图像中心。在真实摄像机坐标系 C_0 生成的图像上所标记的文档图像区域将通过本文提出的图像转换算法转换到虚拟相机系统 C_R 中，并推导预处理图像变换为正视图图像所需的透视变换的参数，通过图像转换所获得的图像是文档在与自身平行的虚拟相机系统的像平面的成像，所成像即为校正图像。

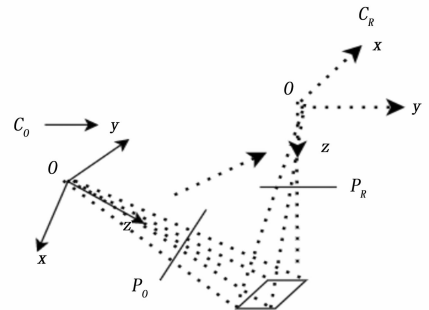


图 4 相机系统变换

2.1 相机系统转换

在图 2 中， C_0 为成像平面与文档所在平面处于任意角度下的真实相机系统。文档经由透视变换被投影到 C_0 的相平面 P_0 上成像。由于物体与成像平面不构成严格的平行关系，导致映射图像发生透视形变且所得图像为非正视图，从而对后期文档文字的扫描与识别产生严重的消极影响。为了获得文档图像的正视图，为后续处理提供有利条件。本文提出的虚拟成像系统是通过真实的相机坐标系的旋转得出，虚拟相机系统标记为 C_R 。文档输入图像被转换到虚拟相机系统 C_R 上的相平面 P_R 上，获得为正视图的文档图像。最后进行鸟瞰图变换获得最终图像。

如图所示真实相机成像系统 C_0 经由四元数旋转矩阵转

换为虚拟相机系统 C_R 。利用该四元数旋转矩阵变换的虚拟相机成像系统进行像素点的重映射从而实现文档图像位姿校正。垂直于真实世界坐标系中的文档平面的单位向量为 u_z , C_0 光轴上的单位向量标记为 e_z 。假设相机的投影矩阵为 K , $K = [f_x, 0, c_x; 0, f_y, c_y; 0, 0, 1]$ 其中 f_x 和 f_y 分别为相机在 x 和 y 方向的焦距, (c_x, c_y) 为图像光学中心点。待校正图像上其中角点齐次坐标标记为 p 、如图 2 (b) 标记文档矩形框上水平边上的两点分别为 $p_1, p_2; p = [p_x, p_y, 1]^T, p_1 = [p_{1x}, p_{1y}, 1]^T, p_2 = [p_{2x}, p_{2y}, 1]^T$, 其中 (p_x, p_y) 为待校正图像中的角点, 如图, c 是 C_0 中文档的 3D 坐标, $c = [x_c, y_c, z_c]^T, p_1, p_2$ 对应的 3D 坐标分为 $c_1 = [x_{c1}, y_{c1}, z_{c1}]^T, c_2 = [x_{c2}, y_{c2}, z_{c2}]^T$, 根据相机成像模型可得: $c = z_c K^{-1} p, c_1 = z_{c1} K^{-1} p_1, c_2 = z_{c2} K^{-1} p_2$ 。 V_1, V_2 分别表示 pp_1, pp_2 向量。

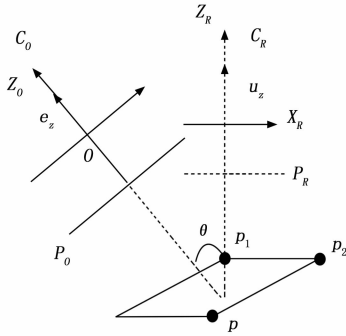


图 5 相机坐标系变换

$$V_1 = c_1 - c = z_{c1} K^{-1} p_1 - z_c K^{-1} p = z_c \left(\frac{z_{c1}}{z_c} K^{-1} p_1 - K^{-1} p \right) \quad (6)$$

$$V_2 = c_2 - c_1 = z_{c2} K^{-1} p_2 - z_c K^{-1} p = z_c \left(\frac{z_{c2}}{z_c} K^{-1} p_2 - K^{-1} p \right) \quad (7)$$

V_1, V_2 的单位向量 v_1, v_2 :

$$v_1 = \frac{V_1}{\|V_1\|} = \frac{z_{c1} K^{-1} p_1 - K^{-1} p}{z_c} \quad (8)$$

$$v_2 = \frac{V_2}{\|V_2\|} = \frac{z_{c2} K^{-1} p_2 - K^{-1} p}{z_c} \quad (9)$$

$$v = v_1 \times v_2 \quad (10)$$

r 和 θ 可通过下式推导:

$$r = v \times e_z \quad (11)$$

$$\theta = \arccos(u_z^T e_z) \quad (12)$$

对旋转轴向量转换为单位向量 $r = [r_x, r_y, r_z]^T$ 其中 $r_x^2 + r_y^2 + r_z^2 = 1$, 则能将实际相机系统 C_0 转换为虚拟相机系统 C_R 的旋转矩阵 $M_{O \rightarrow R}$ 如下:

$$M_{O \rightarrow R} = \begin{bmatrix} \cos\theta + r_x^2(1 - \cos\theta) & r_x r_y(1 - \cos\theta) - r_z \sin\theta & r_x r_z(1 - \cos\theta) + r_y \sin\theta \\ r_x r_y(1 - \cos\theta) + r_z \sin\theta & \cos\theta + r_y^2(1 - \cos\theta) & r_y r_z(1 - \cos\theta) - r_x \sin\theta \\ r_x r_z(1 - \cos\theta) - r_y \sin\theta & r_y r_z(1 - \cos\theta) + r_x \sin\theta & \cos\theta + r_z^2(1 - \cos\theta) \end{bmatrix} \quad (13)$$

通过双目相机推导像素点对应的真实 3D 坐标, 并计算旋转举证所需的旋转轴与旋转角度, 即可计算出后续坐标转换所需的旋转矩阵。

2.2 图像校正

通过上述旋转矩阵 $M_{O \rightarrow R}$ 图像文档区域可以被转换到虚拟相机系统 C_R 中的虚拟像平面, 所得图像即为位姿校正图像。校正过程如图 6 所示。通过反向投影, 将像平面上的待校正图像以一定比例因子 (目前未知) 重映射回真实相机系统 C_0 的 3D 空间中。真实相机系统中的 3D 点 (w) 可以由上述旋转矩阵 $M_{O \rightarrow R}$ 转换为虚拟相机系统中。被转换到虚拟相机坐标系 C_R 中的点 (w_r) 可以被映射到虚拟像平面上从而得到校正图像。

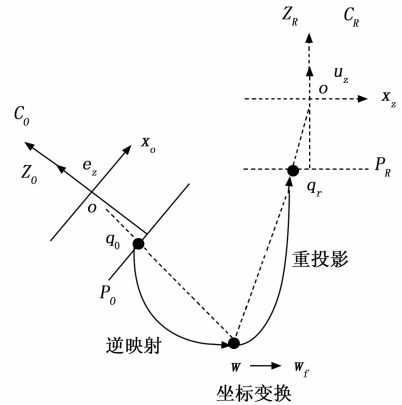


图 6 像素点变换

通过双目相机可以计算像素深度信息。待校正图像上一点 $q_0(q_{x0}, q_{y0})$ 的关于真实相机坐标系深度信息为 z_0 。该像素点对应的 3D 坐标可以通过逆投影变换获得。如式 (4) 所示。

$$w = z_0 K^{-1} q_0 \quad (4)$$

其中: K 是相机投影矩阵, q_0 是像素点的齐次坐标。

将 C_0 中的 3D 点通过左乘旋转矩阵转换到 C_R 中, 对应 C_R 中的 3D 点 (w_r) 的推导方式由式 (5) 得到:

$$w_r = M_{O \rightarrow R} w \quad (5)$$

通过透视投影虚拟相机坐标系的 3D 点 (w_r) 被映射到 C_R 的虚拟像平面 P_R 。旋转相机坐标并不改变相机的内参矩阵 K, w_r 可以通过式 (6) 获得图像上齐次坐标点 (q_r)。

$$q_r = \frac{1}{z_r} K w_r \quad (6)$$

其中: z_r 是虚拟相机坐标系中 3D 点 w_r 的深度信息 (w_r 的第三个元素)。文档图像的所有元素可以通过式 (4) ~ (6) 进行重新映射到虚拟相机系统内。联合三个等式整个校正流程整合如下:

$$\frac{z_r}{z_0} q_r = T q_0 \quad (7)$$

其中: 转换矩阵 $T = K M_{O \rightarrow R} K^{-1}$, 假设 C_0 中的像素点 $q_0 = [q_{x0}, q_{y0}, 1]^T$ 被转换到 C_R 中为 $q_r = [q_{xr}, q_{yr}, 1]^T$, 转换形式为:

$$\begin{matrix} z_r \\ z_o \end{matrix} \begin{bmatrix} q_{xo} \\ q_{yo} \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{T} \begin{bmatrix} q_{xr} \\ q_{yr} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中： $\frac{z_r}{z_o} = T_{31}q_{xo} + T_{32}q_{yo} + T_{33}$, T_{mm} 为矩阵 \mathbf{T} 中第 m 行、第 n 列的值。

通过上述分析，待校正图像上的每个像素点可以映射为虚拟相机坐标系 C_R 中的像素点，从而获得校正图像。

2.3 方法总结

本文提到的方法总结如下。

步骤 1：采用双目相机进行拍摄，并对双目相机进行标定以及相关校正获取实验所需相机相关参数。

步骤 2：获取文档图像四个角点坐标，并推算相关角点的 3D 坐标点。

步骤 3：利用文档角点 3D 坐标点推算出虚拟相机系统转换所需的旋转矩阵。

步骤 4：实现原始文档图像所在区域像素点经虚拟相机系统的重映射，完成文档图像位姿校正。

3 实验结果与分析

本文实验采用双目相机型号为 HBV-1780-2 S2.0，对文档图像进行任意角度拍摄并采用 Matlab 以及 opencv 相关库完成双目相机的标定与立体校正，获得相机内外参数。实验过程及结果如下：

3.1 双目相机标定

为获取文档角点相应的真实 3D 坐标，需采用相机相应的标定的算法获得相机的相关参数。本文采用张正友棋盘格相机标定方法获取相机的相关参数（相机内参、旋转矩阵、畸变稀疏）并利用标定的结果进行双目视觉进行立体校正。

立体校正的目的：把实际中非共面且行未对准的两幅图像，经过立体校正，使得两幅图像经校正后共面且行对准，为后续通过双目视觉获取图像的深度并推算角点真实坐标创建有利条件。立体校正结果如图 7 所示。



图 7 立体校正结果

3.2 角点检测

亚像素级角点检测的位置在摄像机标定或者重建目标的三维结构时能够提供高精度的角点坐标值，固本文对文档的角点检测采用亚像素级角点检测方法^[18]。为了能够精准的检测文档角点且能够输出精准的相关坐标信息，严格限制寻找像素角点个数的阈值，将图像中角点特征比较强

的角点优先显示，为后期伪角点的剔除节省了计算量。为了剔除一些文档轮廓的“角点”，如图 8 所示，由于医院报告单往往采取周边带有空洞的化验单形式，由于角点检测的原理是根据周围像素梯度的变换进行判断。这些空洞被当成角点被标记。为了排除该“角点”保留真正的文档四个直角点。文档的真实角点在空间分布上存在着极值特征。固本文设计了一种通过对角点坐标对不同方向上的坐标值进行排序。对角点坐标进行排序获取坐标方向的极大值、极小值作为文档的四个角点信息。角点检测结果如图 8 所示：由于选取的文档边缘存在空洞，导致文档的四个角点不能被精准检测，需要对检测到的角点坐标进行过滤。因此，需采用排序算法提取检测点 X, Y 方向上极值过滤掉中间点角点坐标。



图 8 实验原始图

3.3 校正结果

经上述亚像素角点检测获得角点坐标后结合式 (4) ~ (8) 的推导计算获取原始像素坐标与校正后图像坐标之间的映射关系获得正视图后方法后经 opencv 库对图像进行仿射变换及可获得鸟瞰图如图 9 所示。

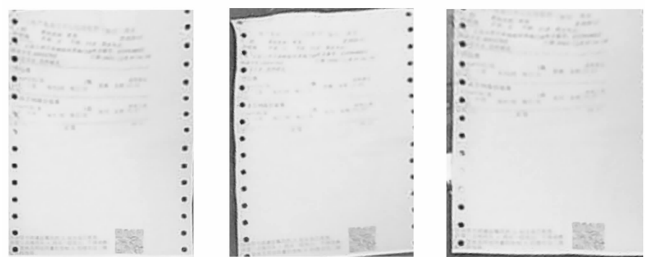


图 9 实验结果图

如图 9 所示，经本文提出的虚拟相机成像系统重新映射后并经旋转所得图 9 所示。随意摆放的文档与相机成一定角度关系经由本文提出的图像校正方法后能获得易于识别的正视图。对后续的目标检测与文字识别提供了有利的条件。本文对 20 张不同角度摆放的文档图像进行实验并选取其中三张进行展示，在正常光照强度下，能完成 18 张文档图像的正常位姿校正，剩余两张由于文档的扭曲原因导致图像角点检测失败，影响后续实验结果。虽然本文能够完成图像视角的转换获得正视图，但对于文档边缘得扭曲和文档本身得褶皱问题并没有得到完美得解决。图像矫正问题一直以来都是计算机视觉的研究难点与热点，目前并没有很好的数学模型能够广泛的解决图像矫正问题。随着

(下转第 282 页)