## NJU Cover

## 摘要

## Abstract

## 目录

## 一、概述

## 二、相关工作

## 三、表面法向提取

本章主要介绍如何提取金属零件的表面法向信息。首先需要介绍的是，我们设计和实现的一款专门为了提取材质表面信息的硬件设备，从而为提取金属零件表面信息提供了数据。该设备通过巧妙地设计，能够精确地获取到表面法向算法所需要的照片。接下来我们将描述如何通过该材质表面信息扫描设备获得到的数据来计算材质法向，这一算法又包括计算前对输入照片进行的包括白平衡校正、色彩校正等校正算法，又包括了通过这些照片获得零件表面法向的算法。

3.1硬件设备的设计与实现

为了精确地计算表面法向，我们的算法要求获取特定入射角度光源下的材质表面照片，为此，本文配合算法设计了一款精密的捕捉照片的扫描设备，该设备通过良好的物理设计和与之配合的软件驱动配合，可以完成对算法所需数据的采集。该设备的硬件系统主要包含以下几个模块：

遮光模块。为了捕捉特定入射角度光源下的照片，我们需要提供一个尽可能暗的拍摄环境，为此我们将整个设备设计在一个合适大小（）的遮光箱内。为了整个设备的稳固和耐用，遮光箱用金属材质构建框架，并在框架上面覆盖了特定厚度的黑色塑料板，形成一个密闭的环境。同时，考虑到遮光箱本身材质会对光产生反射等影响灯光环境的现象，我们通过不同的尝试找到了一种黑绒布材料覆盖在遮光箱内部，从而大大削弱了遮光箱本身材质对光照环境的影响。



平台模块：平台模块主要由一块固定在距遮光箱底部10cm处的一个平台组成，用来放置需要扫描的材质。该平台由一块白色亚力克匀光板构成。该匀光板放置物体的一面为磨砂面，反射效果较弱，从而削弱对入射光源的反射从而减小对灯光环境的影响。另一面为透明面，允许底部灯光透过照在平台物体上，从而计算透明度。

灯光模块：灯光模块的作用是为拍摄提供特定的灯光环境，要求模块的灯光为尽可能满足一定角度的入射平行光源，同时尽可能的避免光源的散射和衰减导致拍摄图片获取的信息不准确。灯光模块由周边四组光源、底部光源和顶部光源以及覆盖其上的CPL滤光膜。所有的光源均采用LED灯带组成，在保证了灯光质量的条件下保证了光源质量。周边四组光源分别从放置物体平台的前（东）、后（西）、左（南）、右（北）四个方向以45°角照射平台中央。周边光源设置在平台模块上20cm处的遮光箱四周，从而并且通过一个金属槽卡住LED灯带，保证了45°的入射角度。拍摄时，当东部灯组亮起来的时候，拍摄出来的照片会呈现出上半部分比较亮，下半部分比较亮的特征，西部灯组亮起时则相反；当南部灯组亮起来的时候，拍照时照片的左半部分会比较亮，右半部分比较暗，同样和北部灯组亮起来时拍摄得到的照片呈相反现象。顶部灯组由四条LED灯带组成，固定在相机镜头下3cm处，以垂直的方向照射平台。灯带的方向和拍照模块的配合放置，协调工作。底部灯光组设置在遮光箱底部，和顶部灯光组一样由四条LED灯带组成，以垂直方向向上照射平台。CPL滤光膜具有选择地让某个方向的光线通过的功能，同时能够配合数码相机的偏光镜头过滤高光。因此我们在所有的灯带上均放置了滤光膜，滤光膜的使用需要搭配相机的位置以及相机的偏光镜使用。

拍照模块：拍照模块包括一款单反相机和与之配合的偏光镜镜头。本文所有实验是用的相机都是Nikon D9000拍摄出来的照片。相机固定于遮光箱顶部正中间位置，使镜头正对着平台正中心拍摄。同时，相机镜头下方有一个偏光镜头，这一偏光镜头通过一个步进电机控制的滑轮控制，通过程序控制在需要的时候转动滑轮使偏光镜处于镜头下方，在不需要的时候转回其他位置，从而和灯光模块的滤光膜配合使用。

控制模块：控制模块主要由单片机和与连接的继电器以及步进电机和其配套部分组成。通过单片机连接继电器控制灯光，给单片机发不同的信号，单片机输出不同的高低电平组合控制继电器的通断来控制灯光的开闭。同时单片机也用来控制用来转动偏光镜的步进电机，

根据是否需要偏光镜来调整偏光镜的位置。

## 3.2 算法设计与实现

在本节中我们将介绍如何根据上一章节我们设计和实现的硬件设备扫描得到的图像数据来生成最终我们所需要的图像表面法向图。通过我们的硬件设计，最终我们将获得在不同入射角灯光照射下的材质图片。由于相机本身成像原理以及相机参数的设定如白平衡设定、曝光时长、光圈大小、相机焦距等，在成像过程中难免会产生与真实值不同的偏差，同时不同的镜头本身也会产生不同的畸变，比如色彩的畸变或者几何的畸变。因此，我们首先对相机的到的照片进行校正，包括白平衡校正、颜色校正以及畸变校正等。在进行了响应的矫正后，我们得到了与真实值更接近的图片，并以此为基础，推导、设计和实现了我们自己的材质表面法向恢复算法。所以，本小节讲先从各种校正算法的设计和实现讲起，最后描述表面法向恢复算法。

### 3.2.1 白平衡校正

白平衡校正主要指在图像处理过程中，对原本材质为白色的物体图像进行色彩还原，去除外部光源色温的影响，使得原来是白色的物体在成像之后的图片中也是白色。在本次试验的目的即是去除LED灯带本身所带色温。为了避免光源本身对成像色彩的影响，我们所选择的LED灯带型号发光颜色为白色，配合上我们采用的白平衡校正算法，能够较好的对白平衡进行校正，提高材质表面信息提取的准确度。

白平衡校正中有两个最基础的理论：灰度世界理论和全反射理论。大部分白平衡算法都是基于这两个理论进行改进和优化，比如[1]就是基于灰度世界理论对灰度世界算法改进实现的白平衡算法，[2]中将两者结合，实现了一种自动白平衡算法。

本文算法在[3]的基础上使用白卡改进了白点检测的准确度。通过定位白卡的位置，读取白卡的内容，根据白卡的内容来计算色温，对图像补色来进行补偿，将整张图片的色温调整到白色。此算法中，我们需要对相机在不同的光源下分别做白平衡校正。

该算法仍主要分为两步，第一步是白点检测，第二步是白点调整。

在第一步中，首先将整个图片从RGB颜色空间转换为Y颜色空间。RGB颜色空间转换到Y空间公式如下：

论文中定义了一个near-white区域，并将该区域所有像素值作为白点的候选，通过一系列约束条件求解一个最优的白点集合当做白点。这一方法首先要统计所有near-white，接着要进行一系列复杂的变换求解约束条件，大大限制了算法的速度。并且，约束条件以及near-white区域的选取都需要设定阈值，在不同的光照情况下可能需要人为调整参数来达到最优解，这在我们这一全自动化系统中是不可行的。因此，本文使用白卡来辅助确定白点。在本文算法中第一步首先对照片中的白卡进行定位和检测，识别出白卡所在位置以及其中白色区域当做白点候选。并且在接下来的筛选过程中仅仅排除掉每一白色区域的离群点，只需要统计白卡中白色区域的,分量，并计算每个区域,分量的平均值,，然后去除掉每一白色区域的离群点（和均值差距比较大的值）即可。本文大大降低了白点统计的复杂度，从而提高了速度。并且在检测白点时加入辅助硬件设备白卡，确定了白点区域的存在以及准确度，因此提高了算法的准确性。

在确定了白点之后，算法使用Von Kries模型来调整图片。通道增益可以从白点的均值得出来。为了使整张图片具有相同的亮度，算法使用亮度最大的值来得到通道增益。通道增益,,可以根据一下公式3.1,3.2，3.3计算得到。

其中，，，分别代表选中的白点Red, Green, Blue三个通道像素值的均值。表示整张图片的最大亮度值。根据Von Kries 模型，照片中每一个像素的像素值可以根据公式3.4,3.5,3.6调整。

其中 R,G,B代表原图片中三个通道的像素值，，，则代表了调整之后的图片中三个通道的像素值。

### 3.2.2 颜色校正

颜色校正又被称为色彩校正，顾名思义，即是对拍摄结果照片的颜色调整。人类对颜色的感知在不同光照的条件下能够得到恒定不变的物体颜色，被称为色恒定性。然而，成像系统却不同于人类，它们并不具有这一特征，所获图像的色彩往往受光源、成像物体反射率和成像系统的光谱响应函数共同影响，因此通常相机在不同的光照条件下对同一物体所捕获的图像也往往不同，并且跟人眼中观察到的色彩有一定色差。为了避免成像系统探测器光谱响应函数与CIE标准观察者色匹配函数的偏差所带来的影响，必须对图像进行色彩校正，以保证相机捕获的图像能够正确的感知物体的本来颜色，防止因为拍摄存在色差而对算法的计算造成损失。

对于颜色校正目前已有大量的研究工作，并且种类繁多，其中主要的方法有灰度直方图统计法、灰度平衡算法等。在[3]中，Porikli使用了距离矩阵和模型函数的方法来对相机间的颜色进行矫正，在[4]中，Jinlong Lin利用彩色图像的边缘色度来进行颜色校正，提出了一种基于边缘检测的色偏校正算法。Hao Yu, Jian Wang等人则是选择在Lab空间对颜色进行校正。

同样，基于我们已有固定设备提供的单一实验环境，我们并不需要在多种光源以及复杂地条件下实施适应性的色彩校正。只需要针对我们实验环境光源条件下对颜色进行校正。本文继承白平衡校正的硬件辅助，使用标准色卡帮助校正。本文中算法首先将一张标准色卡放在实验环境的不同光源下拍摄一组照片，然后对标准色卡进行识别，识别出色卡中不同区域的像素信息，并与标准色卡区域对应的真实值对比，得到色彩偏差曲线，然后对相机捕捉到的材质图像按照该函数曲线进行颜色校正。

本文所做实验基于标准24色色卡。对于一块标准的24色色卡，每一块色卡中都包含24种确定R、G、B值的色彩信息，分别位于24个矩形块中，我们将第i种色彩的标准信息记作，而在不同的光照和相机成像函数的条件下，拍摄出来的照片的像素值会有差异。标准色卡有固定的形状，因此可以使用边缘检测并提取直线之后很简单的得到色卡中不同颜色区域。对不同的区域 ,我们统计该区域的像素均值记为。显然，这里的和都是三维向量，包含着RGB通道的像素值信息。显然，根据这些我们可以得到24个颜色点之间的对应关系，接着拟合一个函数f(R,G,B)，该函数的输入为拍摄得到的照片的R，G，B通道像素值，输出矫正后的像素通道值。

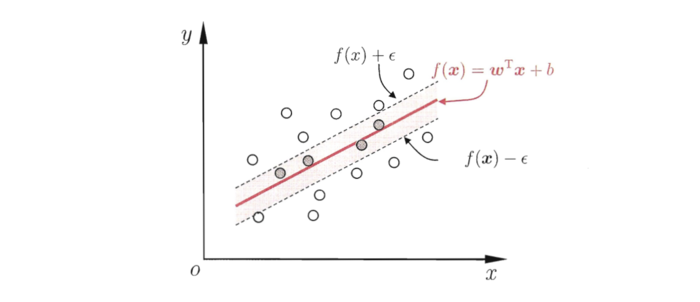
[彩色人脸图像颜色校正及其在肝病诊断中的应用研究]

[一种基于LASSO回归模型的彩色相机颜色校正方法]

[加SVM相关论文引用]

支持向量机(SVM)算法在解决小样本、非线性以及高维空间中的模式识别领域中发挥良好，具有非常多的优点，因此也早已被应用到各个领域中。张宏志等人首先将SVM的思想应用在颜色校正领域，并且实验证明它具有良好的效果。

SVM作为一种监督学习的算法，既可以作为分类算法，也可以被用来做回归。该算法通过最小化结构化风险来求解模型和提高泛化能力，从而实现经验风险和置信范围的最小化，因此该模型可以在统计样本数量较少的条件下学习到良好的可用模型。SVM被用来做回归时，被称为支持向量回归(SVR)，与传统的回归模型通常直接基于模型输出f(x)与真实值y之间的差别计算损失函数，并且当y与f(x)完全相同时，损失函数的值才为0，而SVR模型中，我们可以设定一个容忍值，表示f(x)与y之间可以存在不大于的偏差，当且仅当f(x)与y之间的差别绝对值大于时才会产生损失，因此，SVR相当于以f(x)为中心，构建了一个2宽的间隔带，当训练样本落入这一间隔带时，即被认为预测正确。



如图所示，我们要弥合的函数为

SVR可以将问题形式化为

其中C为正则化常数，表示图中

引入松弛变量和，可将式3.8重写为

该约束问题可以通过拉格朗日乘子法转换为无约束问题求解，并应用对偶理论转化为对问题得到SVR的解形式如公式3.11所示。

通常样本不一定在样本空间中线性可分，因此我们可以使用SVM理论中的核函数将样本从低维空间映射到高维空间中，并且在高维空间中对样本进行划分，使其在高维空间中的到良好的划分。常用的核函数有如下几种。

1. 线性核：
2. 多项式核：
3. 高斯核：
4. 拉普拉斯核：
5. Sigmoid核：

使用了核函数之后SVR可表示为式3.12.

其中表示核函数。本文在实施算法的时候尝试了线性核、高斯核和sigmoid核函数，综合结果认为高斯核最稳定效果最好，最适合于我们的算法。同时，关于参数的选择，再应用的时候可以直接使用OpenCV开源库的trian\_auto，该接口可以直接根据输入采用交叉验证的方法自动寻找最优参数。该接口中我们只需要设置误差范围和最大迭代次数即可。

### 3.2.3 畸变校正

由于相机镜头中所使用的成像镜头固有的透镜效应，在成像过程中会对真实的景象产生一种透视失真，即被称为镜头畸变。随着机械技术的日益发展，相机镜头制造技术日益精良，从镜头的材质以及光学设计入手对镜头畸变不断改善，试图消除镜头畸变。但是，即使是最完善的设计，最考究的工艺，搭配上最高质量的光学玻璃制造出来的镜片，也会产生畸变，想要消除镜头畸变，必须借助镜头畸变校正算法进一步处理。

在计算机视觉领域，畸变校正算法已经发展的非常成熟。其中最成功的是张正友教授在[5]中提出的相机标定算法，现已被广泛应用于相机标定和畸变校正中。Weng J,Cohen P等人在[7]中提出了先估计参数后迭代校正的两步校正方法，Heikkila J 和Silven O等人则在[6]中对[7]中提出的算法经行了扩展，提出了四步校正算法，该算法使用了额外的步骤补偿由于镜头的圆形特性引起的图像失真问题。综合这些参考文献，不难发现在畸变校正过程中最重要的步骤就是相机的参数估计。相机的参数又分为内参、外参和畸变参数。显而易见，其中畸变参数是畸变校正中最重要的参数。相机的畸变参数主要包括径向畸变系数和切向畸变系数。径向畸变的产生原因是光线在远离透镜中心的地方比靠近中心的地方更加弯曲，是由于透镜本身的凹凸性质导致的；而切向畸变产生的原因是成像透镜本身并不完全平行于图像平面，主要发生于成像仪被粘贴在摄像机的时候。畸变校正算法可以通过计算畸变系数，然后计算畸变系数对于图像的作用矩阵，通过对相机拍摄得到的照片应用与畸变作用矩阵相反的变换，进而得到消除畸变的矫正图像。本文中所使用的相机标定算法即[5]中提出的张氏标定法。具体原理以及方法在[5]中有具体的描述，由于本文篇幅所限，在此不展开具体描述。

在张氏标定法只关注径向畸变。实际情况中径向畸变较小，所以可以用主点(principle point)周围的泰勒级数展开的前几项进行描述。在张氏标定法中，选择了用泰勒级数的前两项来确定径向畸变的畸变系数。首先我们使用需要标定的相机拍摄来拍摄不同组棋盘格的照片。在拍摄过程中，我们保证相机位置不变，在不同的角度和位置下拍摄不同的棋盘格照片来进行相机标定。通过n张照片中提取棋盘格中的m个角点，可以得到2mn个等式，对这2mn个等式使用最小二乘法求解方程，可以得到最优的径向畸变参数,最后结合相机的内参和外参，联合进行极大似然估计从而得到更准确地畸变参数。并将计算得到的参数保存起来，在每次需要进行畸变校正的时候通过如下公式对其进行畸变校正。

## 四、基于传统方法的检测

## 五、基于深度学习的检测

## 六、实验结果分析

## 七、总结与展望

## 参考文献

[1]Li X., Wu J. (2013) Improved Gray World Algorithm Based on Salient Detection. In: Tan T., Ruan Q., Chen X., Ma H., Wang L. (eds) Advances in Image and Graphics Technologies. IGTA 2013. Communications in Computer and Information Science, vol 363. Springer, Berlin, Heidelberg

[2]灰度白平衡和全反射算法综合算法

[3] A Novel Automatic White Balance Method For Digital Still Cameras

[4] Porikli F. Inter-camera color calibration by correlation model function[C].Image

Processing, 2003. ICIP 2003. Proceedings. 2003 International Conference on.

IEEE, 2003, 2: II-133.

[5] Zhang Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions

on pattern analysis and machine intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.

[6] Heikkila J, Silven O. A four-step camera calibration procedure with implicit

image correction[C] Computer Vision and Pattern Recognition.1997

[7] Weng J, Cohen P, Herniou M. Camera calibration with distortion models and

accuracy evaluation[J]. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence

, 1992, 14(10): 965-980.

## 简历与科研成果

## 致谢