

# 传感器故障诊断和减小

## 目录

1. 前人的工作	1
1.1. 故障诊断	1
1.2. 故障减小	1
1.3. 曝光异常	1
1.4. 图像处理	3
References	15

## 1. 前人的工作

### 1.1. 故障诊断.

### 1.2. 故障减小.

1.3. **曝光异常.** 文献 [7] 本文研究了几种典型机器学习算法在不同图像降质因素作用下的人脸识别性能, 进一步分析了上述算法的鲁棒性。从仿真结果来看, 对于椒盐噪声及运动模糊影响的人脸图像, PCA 算法鲁棒性较好, 但该算法性能显著依赖于图像曝光条件影响。相比之下, 当图像曝光条件不佳时, 采用 RBFNN 作为人脸识别算法具有相对较好的鲁棒性。文献说说明了图像降质数学模型

- 椒盐噪声实验研究表明, 摄像机拍摄图像过程中, 图像传感器、传输信道、解码处理等部件或因素将引入椒盐噪声, 在图像上呈现黑白杂点, 进而影响后续图像处理。设图像  $I(x, y)$  为  $N$  位图, 椒盐噪声密度为  $d_{sp}$ . 满足  $d_{sp} \in [0, 1]$ . , 则则叠加椒盐噪声后的图像可以表示为:

$$(1) \quad \begin{cases} g(x, y) = I(x, y) * \gamma(x, y) \\ \text{Prob}(\gamma(x, y) = 0) = \frac{d_{sp}}{2} \\ \text{Prob}\left(\gamma(x, y) = \frac{2^N - 1}{I(x, y)}\right) = \frac{d_{sen}}{2} \\ \text{Prob}(\gamma(x, y) = 1) = 1 - d_{sp} \end{cases}$$

1

- 曝光异常同态滤波方法利用光照反射模型, 把频率过滤和灰度变换结合, 可以在不损失图像细节的前提下调解图像的光照条件。考虑到同态滤波具有上述特点, 因此本文将用作曝光异常的图像仿真方法。设原始图像为 $I(x, y)$ , 首先对其取对数并做傅里叶变换, 提取高频及低频分量:

$$(2) \quad Z(u, v) = F(z(x, y)) = F(\ln(I(x, y))).$$

之后, 采用频域滤波函数对图像进行增强处理, 本文采用高斯型高通滤波器作为滤波函数, 处理如式3所示。其中  $M, N$  分别表示图像的行、列像素数。 $D_0$  为截止频率,  $c$  为锐化系数,  $R_h$  为高频增益,  $R_l$  为低频增益。

$$(3) \quad \begin{cases} S(u, v) = H(u, v) \cdot Z(u, v) \\ H(u, v) = (R_h - R_l) \cdot \gamma(u, v) + R_l \\ \gamma(u, v) = \left( 1 - \exp \left( -c \cdot \left( \frac{D(u, v)}{D_0} \right)^2 \right) \right) \\ D(u, v) = \left( \left( u - \frac{M}{2} \right)^2 + \left( v - \frac{N}{2} \right)^2 \right)^{0.5} \end{cases}$$

最后, 对频域图像做傅里叶反变换并取指数, 计算过程如式4所示。

$$(4) \quad g(x, y) = e^{s(x, y)} = e^{F^{-1}(S(u, v))}$$

#### ● 运动模糊

在照片曝光期间, 相机与被摄物体之间发生相对运动造成的图像模糊称为运动模糊。受运动模糊影响的图像往往在视觉上表现为图像像素整体沿某一方向具有拖影效果。当像素位移量偏大时, 将严重影响图像质量, 从而降低人脸识别准确率。考虑到变速或非直线运动在一定条件下可以被分解为分段匀速直线运动, 因此匀速直线运动造成的运动模糊具有普适的研究意义。从物理场景上看, 图像发生运动模糊的原因是被摄图像经过一定距离延迟后再进行叠加。将静止条件下的图像表示为  $I(x, y)$ 。设快门打开期间, 图像传感器与被摄物体保持水平匀速直线运动, 则图像退化模型可以表示为示:

$$(5) \quad g(x, y) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^L f(x - i, y) \Delta t$$

其中,  $L$  表示图像发生整体位移的像素长度近似值。

[15] 准确判断巡检图片中无效图片因为巡检图片随着列车的行驶不间断地拍摄, 因而在列车进站、临时停车等因素造成告诉摄像机摄入大量重复图片, 为接触网异常检测增加了较多额

外工作量。除此之外, 因为列车走向可能正对太阳造成曝光过度, 或者因为夜间行驶造成巡检图片光线不足进而缺少必要的细节信息。本系统需要有效检测出以上无效图片, 标记图片信息并提示系统用户。随机概率统计过滤无效图片

图像曝光过度或者光线过暗会造成图像丢失细节信息。为了确保无效图片对绝缘子的识别与异常检测造成干扰, 需要在巡检图片中判定无效图片并做标记便于系统查询。

$$(6) \quad \begin{aligned} \text{FlagBright}(x, y) &= \begin{cases} 1, & I(x, y) > 215 \\ 0, & I(x, y) \leq 215 \end{cases} \\ \text{FlagDark}(x, y) &= \begin{cases} 1, & I(x, y) < 30 \\ 0, & I(x, y) \geq 30 \end{cases} \end{aligned}$$

图像无效的判别公式如 7 所示。

$$(7) \quad \text{ImgErr} = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{(\sum_{i=1}^{\text{width}} \sum_{j=1}^{\text{height}} \text{FlagBright}(x, y))}{\text{width} * \text{height}} > 80\% \\ 1, & \text{if } \frac{(\sum_{i=1}^{\text{width}} \sum_{j=1}^{\text{height}} \text{FlagDark}(x, y))}{\text{width} * \text{height}} > 80\% \\ 0, & \text{when} \end{cases}$$

剔除部分重复拍摄照片 (1) 通过观察大量巡检图片, 取倾斜角在  $[84 \ 96]$  之间的直线称为偏竖直直线。(2) 对 ROI 区域内图像进行 Hough 变换提取直线信息, 并保留偏竖直直线数据。(3) 比较直线分布区间内有最多竖直直线数, 取区间数值小 (即巡检图片中左侧位置) 的线段的中心点横坐标标定接触网支撑结构位置  $w$ , 当该位置处于原图 ROI 位置宽度  $\text{width}/6$  处左侧时, 认定该位置为不重叠区域, 其他区域为重叠区域。图像增强 (1) 对比度增强 (2) 中值滤波 (文章没有提到这种方法)

#### 1.4. 图像处理.

1.4.1. 图像增强. 文献 [11](1) 提出了一种快速 Retinex 图像增强方法, 模拟了人类视觉系统的全局和局部自适应性。(2) 提出了一种改进的自动颜色均衡化方法, 用于图像对比度的增强。(3) 提出了一种改进的结合视觉感知特性的变分框架下的彩色图像增强方法。(4) 提出了一种结合视觉特性的梯度域图像增强方法。(5) 针对同一图像采用不同增强方法处理的结果之间可存在互补优缺点的特点, 提出了采用梯度域融合的方法改善图像视觉效果的增强方法。

基于核的 Retinex 及其反对称化 Bena]lmfo 等睇 1 提出了 Retinex 基于核函数的实现 (Kernel Based Retinex., KBR), 其形式为

$$(8) \quad \begin{aligned} L(x) &= \sum_{v \in \Omega} w(x, y) f\left(\frac{I(x)}{I(y)}\right) \text{sign}^+(I(y) - I(x)) \\ &\quad + \sum_{v \in \Omega} w(x, y) \text{sign}^-(I(y) - I(x)) \end{aligned}$$

其中,  $f(\cdot)$  为对像素值间的比值进行调整的函数,

$$(9) \quad \text{sign}^+(\xi) = \begin{cases} 1, & \text{if } \xi > 0 \\ \frac{1}{2}, & \text{if } \xi = 0, \\ 0, & \text{if } \xi < 0 \end{cases} \quad \text{sign}^-(\xi) = 1 - \text{sign}^+(\xi)$$

核  $w(x, y)$  为  $\|x - y\|$  的函数, 具有对称性, 且  $\sum_{y \in \Omega} w(x, y) = 1, \forall x \in \Omega$ . 此形式的性质满足原有 Retinex 方法的特点, 即可消除彩色图像色偏, 可增强欠曝光图像中的细节, 只提高像素亮度值等. 在此基础上, 他们还对 KBR 作了“反对称化”, 形式

其中,  $\text{sign}_0()$  为符号函数, 此形式改变了原有的各种 Retinex: 实现方法 (若不考虑色调重整的步骤) 只能提高图像亮度的特点, 既可处理欠曝光图像, 也可处理过曝光图像. 他们还指出了反对称化的 KBR 与 ACE 模型的关系.

- 1.2.1 频域和空域图像增强方法按照进行处理所在空间的不同, 常见的图像增强方法可分为频域处理方法和空域处理方法两类

频域方法一般需借助傅里叶分析等变换方法将图像转换至频率域后再做滤波等处理. 同态滤波器 (Homomomorphic Filtering) 由 Oppenheim 等提出, 原用于声波的分析 and 合成, 其步骤是将信号转至频域后进行非线性滤波, 最后再转回时域. 后有学者将其用于其他信号及图像的增强. 方法通过将图像分解为照度和反射两部分分量, 同时进行灰度范围的压缩和对比度增强来改进一幅图像的外观. 通过对数运算, 被视作乘性噪声的照度成分可被转化为加性噪声. 图像中的照度和反射成分本是不可明确分开的, 但二者在频域中的位置可大致确定. 图像中的高频成分往往对应反射分量, 而低频分量则对应照度在空间的变化. 通过压制低频分量, 扩大高频分量, 即可有效改善图像的视觉效果. Polesel 等提出了一种非锐化掩模 (Unsharp Masking) 用于图像对比度增强, 方法采用自适应滤波器控制锐化路径, 对图像中细节区域进行较大的增强, 而对平坦区域不增强或进行较小增强. Guillon 等同样基于自适应滤波器掩模, 将非线性低通和高通滤波器结合, 对图像进行同时的噪声消除和增强处理. 陈强等通过调制传递函数 (Modulation Transfer Function, MTF) 补偿调整图像的光能分配, 达到增强图像中细节和边缘的目的, 进行遥感图像的复原和增强. 在图像处理中, 空域是指由像素点组成的空间, 而空域方法则直接作用于图像中的像素点, 可表示为以下的算子形式  $g$

$$(10) \quad g(x, y) = E_H(f(x, y))$$

其中,  $y(x, y)$  和  $g(x, y)$  分别为增强前后的图像, 而  $E_H$  代表增强操作算子. 如果  $E_h$  仅定义在每个  $(x, y)$  像素点上, 则玩为一种点操作; 如果玩定义在  $(x, y)$  的某个邻域上, 则玩常称为模板操作. 也有的增强方法在图像梯度场  $Vf(x, Y)$  上进行

操作,也可将其归为空域方法.空域方法按处理策略的不同,又可分为全局处理的方法和区域自适应处理的方法.全局处理的方法较为简单,不考虑图像中像素点的空间分布,仅对图像中的像素值进行全局一致的调整;较复杂的区域自适应方法则基于诸如局部对比度、边缘强度等区域信息,或采用基于偏微分方程或变分模型的描述形式.较多的图像增强算子作用于单幅图像  $f(x, y)$ ,也有的增强算子作用于一系列图像  $f_1(x, y), f_2(x, y), \dots, f_n(x, y)$ .简单的作用于多幅图像的增强操作可对数幅图像进行对应点位的算术和逻辑运算,以得到一幅新图像.我们也可根据应用的具体目的设计更复杂的图像间增强操作方法.本论文主要讨论空域的图像增强方法.

- 色调映射色调映射是在有限动态范围媒介上近似显示高动态范围图像的一项计算机图形学技术,也是一种增强处理.我们平常可见的场景中的最大亮度(如晴天的太阳)和最小亮度(如夜空中的星星)的强度之间的比值可高达  $10^9$  至  $10^{10}$ ,按照动态范围和输出媒介的动态范围之间的大小关系,场景可分为低动态范围(LowDynamic Range,LDR)、标准动态范围(StandardDynamicRange,SDR)和高动态范围(HighDynamicRange,VIII)R)三类.从SDR场景获得的图像不需进行处理即可由输出媒介直接显示,而从LDR和HDR场景获得的图像分别需进行动态范围拉伸和压缩处理.从本质上来讲,色调映射要解决的问题是进行大幅度的对比度衰减.将场景亮度变换到可以显示的范围,同时要保持图像细节与颜色等对于表现原始场景所必须的重要的信息.

简单的全局色调映射方法采用对数函数、伽玛校正等处理图像像素值,从而对图像动态范围进行全局调整. Braun 等的方法中使用了稍复杂的 S 形曲线,即 Sigmoidal 函数进行灰度值调整,且在函数参数设置时考虑了图像的灰度均值和方差.以上介绍的全局方法实现简单、运行速度快,但对于远超过监视器显示范围的高动态范围图像往往易导致图像部分区域细节丢失,不能得到好的效果.通常,电子设备(如 CCD 等)以线性方式记录进入镜头的光照强度,这与人眼感知到的场景是不一样的.较好的色调映射方法必须考虑人类视觉系统的特性,以使增强结果图像接近人眼直接观察到的场景.故更合适的方法是采用区域自适应的方法,如基于 Retinex 理论的方法,基于梯度域操作的方法等.

- 对比度增强图像对比度有多种定义,一般是指图像中各部分之间灰度级反差的程度.对比度增强是一种增强原图中各部分间反差的方法.

直方图调整是指按照一定的映射对图像的像素值进行调整以增强图像对比度的方法.灰度直方图是灰度级的函数,描述的是图像中具有该灰度级的像素的个数:其横坐标是灰度级,纵坐标是该灰度出现的频率或像素的个数.

直方图调整映射的形式可以是事先确定的,如采用对数函数、Sigmoidal 数的形式等,也可以考虑图像的具体情况进行确定.其中,直方图均衡化使像素灰度值分布满足(或

近似满足) 均匀分布. 设图像的 (离散) 直方图为  $h(n)$ , 其可视为未归一化的图像像素值分布概率密度函数. 将其归一化, 并记为  $p(n)$ , 则  $c[n] = \sum_{i=0}^n$  为累计分布函数 (Cumulative Distribution Function, CDF). 将 CDF 拉伸至像素值动态范围, 则可得到直方图均衡化的映射函数, 即

$$(11) \quad T[n] = \left\lfloor 255 \sum_{j=0}^n p(j) + 0.5 \right\rfloor$$

其中,  $\lfloor \cdot \rfloor$  表示不大于自变量的最大整数. 这里假设处理的是 8 位图像, 即像素值的取值范围为区间  $[0, 255]$  中的整数. 以上描述的是离散形式的直方图均衡化, 接下来介绍连续形式的表达. 设像素值为归一化到  $[0, 1]$  之间的实数, 已归一化的直方图 (即像素值概率分布密度) 为  $h(s)$ , 则直方图均衡化的映射为

$$(12) \quad T(s) = \int_0^s H(s) ds$$

另一种直方图调整方法称为直方图规定化, 它可使处理后的直方图分布满足用户给定或期望的任意形式, 而不限于均匀分布. 针对直方图均衡化易对图像产生“过增强”的现象. Arici 等<sup>[1]</sup>在直方图均衡化方法的基础上增加了一些约束, 实现了根据图像自身特性的自适应直方图规定化. 他们定义了如下关于调整后直方图  $h$  的目标函数,

$$(13) \quad f(h) = \|h - h_i\|_2^2 + \lambda \|h - u\|_2^2 + \gamma \|Dh\|_2^2$$

其中,  $h$  为目标图像的直方图,  $u$  为均匀分布的直方图,  $h_i$  为原始图像的直方图,  $Dh$  表示直方图  $h$  的差分, 而  $\|\cdot\|$  表示 2-范数.

以上介绍的直方图调整方法均是全局处理的, 没有考虑图像局部的信息, 在确定变换或转移函数时也是基于整个图像的统计量. 且灰度调整的映射一旦确定, 原图中的水平线保持不变, 各处相同灰度值的像素点在调整后灰度值仍相同. 更复杂和灵活的方法是根据图像局部的梯度、边缘等特性决定局部对比度增强的程度.

- 机器色感一致色感一致性 (Color Constancy)<sup>[41]</sup> 是人类视觉系统的特性, 是指在不同的光照等条件下, 人眼总是能感知到物体的“实际”颜色, 而几乎不受光照等条件的影响. 这是由于人眼感知到的某点的颜色和亮度并不仅仅取决于该点进入人眼光线的绝对强度, 还和其周围的颜色和亮度有关. 人类视觉系统的这一特性是在其漫长的进化过程中获得的. 色感一致性已被一系列的生理学实验所证实. 但通常情况下相机等设备成像的过程则简单得多, 只是线性地记录进入到镜头的光照的强度, 这样所成的图像就会受到光照条件的影响, 在特殊光线条件下会产生色偏 (Color Cast) 的现象. 用机器计算的方法从已成的图像中估计光照, 并提取一致色感的过程称为机器一致色感 (Machine Color Constancy) 方法.

常见的机器一致色感算法基于以下两种假设之一：白片假设和灰色世界假设。白片 (White Patch) 假设是指任何一个场景中至少有一处物体是白色的，即亮度达到了可能的最高值，图像其他部分物体的颜色可以此为参照求得。常见的基于白片假设的方法有基于路径的 Retinex，基于二维点随机选取的 Retinex(RSR) 等。而灰色世界 (Gray World) 假设则认为在复杂的场景中，颜色的平均值是灰色，即各种颜色分量的平均值趋于相等，且取亮度范围的中间值。常见的基于灰色世界假设的方法有基于中心/环绕的 Retinex、自动颜色均衡化 (ACE) 等。Provenzi 等提出的区域对比度驱动的图像增强方法 (RACE) 则基于白片和灰色世界两种假设的折衷。一致色感方法虽可用于去除图像的色偏现象。但若场景事实上不满足算法的假设，机器一致色感方法就会失败。若我们用 MSRCR 算法 No1(一种中心/环绕 Retinex 方法，基于灰色世界假设) 处理一幅蓝天占据大部分场景的照片，处理结果中蓝天区域的颜色会趋向于灰色，这是由于场景并不满足灰色世界假设的缘故。

1.4.2. 多曝光融合. 文献 [8] 提出一种基于梯度信息的多曝光融合 (Multi-exposure Fusion) 高动态范围图像 (High Dynamic Range Image, HDRI) 合成方法。为克服通用多曝光融合增强中权值平均等方法中出现的不考虑信息重要性及邻域像素关系所造成的细节损失和模糊等问题，提出依赖于图像曝光质量评估及梯度域信息进行权值设计，对图像进行融合，实验结果表明增强的图像兼具原始图像在暗区和亮区的相应细节，图像整体效果符合人类视觉感知特性要求。同时提出一种基于分块去混淆 (Ghost Removal) 的多曝光融合算法。在处理动态多曝光图像融合增强过程中，最大的问题是如何解决由于运动所产生的混淆现象。本文通过提出基于梯度上升优化处理的自适应分块方法，并结合形态学原理，调整分块大小及动态区域块的权值，最终达到混淆去除的目的。同时利用 Gaussian 中心函数窗口滤波，去除在分块融合过程中引入的块边缘不连续性痕迹。实验结果表明该方法能有效增强多曝光图像并去除混淆问题。

1.4.3. 全景图像拼接. [13] (1) 研究了图像几何畸变的校正，包括常用的图像几何变换模型、全景图像投影模型和摄像头失真的校正。引入一种基于几何模型的图像失真校正方法，快速有效地实现了摄像头失真导致的图像几何畸变的校正。(2) 分析了基于频域、基于灰度和基于特征的几类图像配准方法。比较了 Harris 角点，尺度不变特征变换和快速鲁棒性特征，确定了比较有效的特征提取方法。深入研究了特征点提纯和模型变换参数的估计，实现了图像的配准，对手持相机拍摄的图像的配准也能取得不错的效果。(3) 针对动态场景中运动物体导致融合鬼影的问题展开了研究，总结现有一种 **最佳缝合线** 的搜索准则，针对它们存在的问题提出了一种改进的最佳缝合线。改进的最佳缝合线减小了**曝光差异**的影响并充分利用了相邻像素点间的相似性，同时提高了算法的速度。研究了多分辨率融合和泊松融合算法，利用傅里叶变换求解提高了泊松融合的速度。最后利用最佳缝合线与泊松融合实现了自然无缝的全景图像。

全景图像拼接方法及系统实现



- 图像亮度调整在实际拍摄过程中光照情况完全不变的场景是几乎不存在的, 光源的变化, 拍摄角度的变化, 相机的自动对焦等因素都会导致拍摄的图像间存在曝光差异。当完成图像的坐标变换后, 需要对图像进行一定的处理来减小曝光差异的影响。图像拼接中最常见的就是对图像进行融合, 但是当图像中存在较大的曝光差异时直接融合的效果往往不佳。这就需要首先根据两幅图像的情况, 进行亮度调整来减小图像间的曝光差异。
- 传统图像融合方法
  - 直接平均法
  - 加权平均法
  - 距离权重法
  - 对比度调制法
  - 图像融合算法分析

[5] 提出了一种新的车牌识别系统的实现方法, 使得在各种不同的光照条件下, 通过使用一个具有较大的动态变化范围的传感系统来获取更精确的车牌图像, 这个传感系统是通过两个不同的**曝光**条件下的图像进行合成, 进而来扩展其动态变化范围的。为了避免快速行驶车辆所造成的图像模糊, 安装了一个相当于多层过滤器的棱形电子束分裂器, 通过调整其入射光与透射光的强度比率来实现图像获取。实验结果表明, 提出的这种系统对于车牌识别是很有效的。

通过合并'个由不同的 CCD 摄像头在同一时间、不同的曝光条件下所拍摄的两幅图像, 那么就可获得一幅具有较大的动态变化范围而无模糊的图像。这部分主要介绍了该方法, 并提出了改进的传感系统的结构。

方法电子束分裂器将入射光分离成不同强度的反射光和透射光。分离光线的强度比率( $\lambda_1, \lambda_2$ ) 用光束分裂器内的多层过滤器控制。不同强度的光线由 2 个 CCD 摄像机同时摄入, 即传感系统要同时摄入两个不同曝光条件下的图像。

合成两个不同强度的图像后, 图像的动态变化范围要比最初产生的图像大得多。令  $\lambda_1 > \lambda_2$ , 则有下面关系成立:

$$(14) \quad 0 \leq f_2(x, y) \leq f_1(x, y) \leq L_{sat}$$

式中  $f_1(x, y), f_2(x, y)$  代表通过 CCD1 和 CCD2 拍摄的图像上某个像素点坐标  $(x, y)$  的灰度等级;  $L_{sat}$  表示饱和度。在研究中, 来自于摄像机的信号输出数字化为 8 个字节, 因而  $L_{sat} = 225$ 。由  $f_1$  和  $f_2$  具有扩展动态范围的合成图像  $f_{sync}$  可通过下面的公式计算出来:

$$(15) \quad f_{sync}(x, y) = \begin{cases} f_1(x, y), & \text{if } f_1(x, y) < L_{sat} \\ (E_2/E_1)^\gamma f_2(x, y), & \text{if } f_1(x, y) = L_{sat} \end{cases}$$



式中,  $E_1$  和  $E_2$  是由曝光条件决定的系数, 在这里, 由于  $\gamma$  是作为 *gamma* 补偿的一个系数, 因此具动态变化的图像,  $E_1/E_2$  的比率应与其中一个摄像机的强度比率 ( $\lambda_1 : \lambda_2$ ) 保持一致。最后, 描述了解决密度比率 ( $\lambda_1/\lambda_2$ ) 的方法。传感系统 D 的动态范围由式 (16)

计算得出:

$$(16) \quad D = (L_{\text{sat}}/L_{\text{noi}})^{1/\gamma} (E_1/E_2)$$

文献 [6] 还将 BP 神经网络应用于自动曝光的图像处理技术中, 提出了一种新的基于图像处理的自动曝光控制算法。该算法首先将图像分块, 将每块子图像的亮度信息作为 BP 神经网络的输入求出图像的合适曝光量, 根据该曝光量确定快门速度和光圈系数, 从而有效控制数码相机曝光。

文献 [12] 为有效消除引导滤波平滑图像后产生的光晕现象, 提出一种新型的融合梯度信息的改进引导滤波算法。方法该算法借助引导图像的梯度信息来判断图像边缘位置, 并结合指数函数框架设计权值来控制不同图像区域内的平滑倍数, 使改进后的引导滤波能够自适应地区分和强调边缘, 从而避免边缘附近由于过度模糊所引入的光晕现象。结果与引导滤波算法相比, 本文算法能在保边平滑的同时较好地抑制光晕, 并在结构相似性 (SSIM) 评价和峰值信噪比 (PSNR) 评价中分别取得最高约 30% 和 15% 左右的质量提升。

文献 [4] 分析了 CMOS 图像传感器的模拟噪声类型, 主要以时间和空间噪声为分类基础, 详细介绍了三维噪声模型的原理。在此基础上, 设计了一个基于三维噪声模型理论的图像传感器时间和空间噪声测量实验。利用试实验成像系统拍摄一系列均匀背景图像, 然后对所拍摄图像进行一系列的分析, 得出时间噪声和空间噪声在不同照度下的具体值, 并得出其变化趋势。

空间域图像增强在曝光不足或曝光过度的情况下, 图像灰度范围很窄, 图像会看起来很不清楚, 很多细节看不出来。灰度变换可以增强原图各部分的对比度, 一般采用**线性变换, 分阶段线性变换和非线性灰度变换**三种。

- 线性灰度变换

$$(17) \quad g(x, y) = \begin{cases} \frac{a1}{a1} f(x, y) & 0 \leq f(x, y) \leq a1 \\ \frac{b1'-a1'}{b1-a1} [f(x, y) - a1] + a1' & a1 \leq f(x, y) \leq b1 \\ \frac{M'-a1}{M-a1} [f(x, y) - b1] + b1' & b1 \leq f(x, y) \leq M \end{cases}$$

- 直方图均衡化在数字图像处理的过程中, 灰度直方图是一种非常有效的工具, 特别是在图像增强方面应用非常普遍, 灰度直方图用来直观统计各个灰度级分布的像素个数。我们可以通过分析灰度直方图得到图像的一些特性, 在整个图片比较暗的情况下直方图大多集中在低灰度级的一侧, 对比度高而色彩丰富的图像灰度直方图布满了整个灰度级且分布相对比较均匀。

直方图均衡的基本原理是将原始图像的灰度直方图进行某种变换, 增强灰度值的动态范围, 使其均匀分布, 从而最终达到增强整体图像的对比度的效果。可以得到一幅灰度级分布具有均匀概率密度的图像, 扩展了原始图像的灰度动态范围。灰度直方图可以用公式 (18) 来表示:

$$(18) \quad P_s(s_k) = \frac{n_k}{n} \quad \begin{matrix} 0 \leq s_k \leq 1 \\ k = 0.1, \dots, L-1 \end{matrix}$$

假定像素点的原灰度级数为  $s_k$ , 经增强函数变换后的灰度级数为  $t_k$ , 需要注意的是  $s_k$ 、 $t_k$  是归一化后的灰度值, 其灰度变换函数  $EH(s_k)$  如公式 (19) 所示:

$$(19) \quad t_k = EH(s_k) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} = \sum_{i=0}^k p_s(s_i) \quad \begin{matrix} 0 \leq s_k \leq 1 \\ k = 0, 1, \dots, L-1 \end{matrix}$$

MATLAB 影像处理工具箱中有函数 `imhist()` 可以直接用来显示图像的灰度直方图

文献 [2] 针对多聚焦图像、多曝光图像、可见光与红外图像、多模态医学图像等多种类型的图像融合问题进行了深入研究, 提出了多种变换域和空域图像融合新方法。空域多曝光图像融合方法研究中, 针对传统方法在消除动态场景中运动鬼影能力上的不足, 提出了一种基于稠密 SIFT 描述子的**多曝光图像融合算法**。该算法利用特征描述子具有衡量局部对比度和描述局部相似度的能力, 将 SIFT 描述子同时用于多曝光图像细节信息的提取和鬼影效应的消除。实验结果表明, 该算法在主观视觉效果和客观评价准则两方面都可以取得优于传统多曝光图像融合方法的效果。

文献 [9] 通过分析跑偏测试系统的技术要求, 以及跑偏测试系统的使用环境, 列举了三种可能用于行驶跑偏的检测方法。对比分析传统跑偏测试方式、CCD 图像传感器方案、光纤传感器方案及 GPS 定向测量方案的优缺点, 最终确认采用 CCD 图像传感器方案开发行驶跑偏测试系统。在此基础上, 分析并确定了系统的硬件构成, 系统硬件包括图像采集系统硬件、无线通信系统硬件以及相应硬件安装的土建施工等。在介绍系统硬件部分, 文章结合系统要求, 对系统各硬件关键技术参数进行了剖析。

硬件 CCD 传感器图像采集光电开关系统环境光传感器照明系统无线通信系统无线 AP 无线交换机龙门架土建施工其它功能采集测试图像产生 CCD 触发信号采集环境光强, 调节曝光时间提供夜间测试照明产生射频信号集中管理 AP, 与 AP 共同构建无线网络, 传输测试指令和测试结果安装 CCD 传感器光电开关支架安装光电开关 AP 支架安装无线 AP 光纤及光纤收发器连接交换机与 AP、连接测试主机与 CCD 传感器、连接测试主机与环境光传感器

文献 [10] 介绍了在.NET 平台下基于 OpenCV 图像处理库封装的 Emgu CV, 同时阐述了它的特点及结构, 并对 EmguCV 在 Visual Studio2008 开发环境下的配置作了说明。利用 MV

一 3000UC 作为图像采集设备,在完成照相机的分辨率、曝光和增益等参数设置的基础上,实现了基于 Emgu CV 的视频或单帧图像的采集和保存,且其性能和易用性较好。

文献 [3] 了一种采用数字微镜 (DMD) 器件作为 sLM 调制面阵 CCD 的设计方法。解决普通 CCD 相机在拍摄高反差场景时,图像上出现过曝光或欠曝光。造成丢失细节的现象。该方法通过场景预测成像。确定 CCD 按多曝光区域的划定和曝光时间。利用 DMD 微镜调制功能,实现 CCD 分区分时曝光。同时设计一种图像数据结构提高了面阵 CCD 动态范围。实验证明,该方法不但提高了成像质量,高亮和背光处细节可清晰地表现。而且增强了图像数据的动态范围。实现实时获取高动态范围、高质量的图像及数据,不再需要软件“融合”。

文献 [1] 提出了一种可以对被任意形式的运动所造成的退化图像进行恢复的方法,给出了理论推导,并建立了一套实现系统。解决了以前的恢复方法存在的只能恢复特定运动形式(如匀速直线运动)的模糊图像的局限性。在主 CCD 曝光的同时,利用低分辨率的黑白快速 CCD 获得多帧图像,根据这些图像序列来计算位移,然后求得相对运动的瞬时速度,根据理论分析,点扩展函数和瞬时速度有着对应的关系,进而计算出模糊过程的点扩散函数 (PSF),并用 RL 迭代法来恢复模糊图像。实验结果表明,这种恢复方法对任意运动形式造成的模糊,能够得到较好的恢复效果。

[14] 针对目前有关非均匀光照图像灰度校正与分割的基本问题,提出了一些新的参考方法和改进的应用策略,主要创新点有: 1. 针对非均匀光照图像的直方图不具备明显的双峰问题提出了光照鲁棒的小波域灰度拉升与快速的阈值化分割方法。2. 对于图像灰度不均匀场的建模分析与校正中,研究了非均匀光照的表示模型,采用了 Retinex 模型和基函数表示非均匀光照的思想,利用曲面拟合与表示的数学方法,用正交基函数的线性组合来表示非均匀光照,从而建立了非均匀光照场的表示模型和快速的参数求解方法,实现了基于能量最小化方法的光照非均匀图像的自适应校正,可以对图像在分割前进行有效的预处理。3. 在基于 PCNN 方法的图像分割中,首先针对非均匀光照环境的特性实现自适应确定 PCNN 模型的部分参数,充分考虑人眼的视觉特性,利用像素的对比度设置模型中的内部活动项连接强度  $p$  值、像素邻域信息的相关性确定连接矩阵  $IV$  的值,不仅考虑了像素之间的距离因素,还结合了像素间的灰度差异,其次充分考虑了图像的空间结构性上的几何信息而采用了以图像的区域互信息熵作为 PCNN 分割方法迭代终止条件的判决依据,从而提出了光照鲁棒的参数自适应确定的 PCNN 图像分割,解决了传统 PCNN 方法对于非均匀光照导致的灰度不均匀图像分割效果不好的问题。4. 提出了同步估计非均匀光照的 FOI 图像分割方法。5. 在非均匀光照影响较大的彩色细胞图像的分割中,提出了光照鲁棒的基于主成分分析的分割方法。

1.4.4. 非均匀光照图像灰度校正的研究现状. 图像增强的主要目的是增强图像中的细节信息,校正照度不均匀导致的图像中的灰度不均匀现象。然而图像增强与感兴趣物体的特性,观察者的习惯等因素密切相关,具有很强的针对性和主观性,因此实际中并不存在一种通用的、适应

各种应用场合的图像增强算法。目前照度不均匀图像的灰度不均匀校正与增强方法主要有以直方图均衡化方法为代表的灰度变换法、直方图修整方法、图像空域上的灰度变换法、基于同态滤波的图像灰度校正与增强方法、基于照明-反射模型的 Retinex 增强方法、梯度域增强方法以及基于参考标样的灰度校正方法。

- 直方图变化方法为代表的灰度变换法用直方图变换方法进行图像增强时主要以概率论为基础,是图像增强最常用到的最重要方法。该方法主要是指通过构造灰度级映射变换,改造原始图像的直方图,从而使变换后图像的直方图达到一定的应用要求,使得原始图像灰度级集中的区域被拉开或者使灰度分布均匀的区域增大对比度,使图像细节更加清晰,来达到图像增强的目的。用直方图变换方法进行图像增强时又包括直方图均衡化和直方图规定化。直方图均衡化主要用于增强动态范围偏小图像的反差,是使变换后的图像灰度分布趋于均匀而对各像素点进行灰度变换的一种均衡化调整方法。也就是把一个已知灰度概率分布的图像,经过一种函数变换,使之转变为一副具有均匀概率分布的新图像。直方图均衡化的理论依据是当图像的直方图为均匀分布时,它的信息熵达到最大值,此时的图像含有的信息量最大,图像看起来最为清晰。这种方法对于一些灰度分布比较密集或者对比度较低的图像可以取得比较满意的增强效果,但是该方法仅仅使图像灰度级分布平均化而不是扩大灰度范围,对于灰度级分布范围较大的图像灰度拉伸效果不明显,并且会产生灰度级合并的现象,表现为处理后的图像亮度被过度提升,而且处理的结果只是得到全局均衡化的直方图,从而将改变图像的原始面貌并丢失图像的细节信息。在实际应用中,有时希望能够有目的地增强某个灰度区间的图像,即能够人为地修正直方图的形状,使之与期望的形状相匹配,这就是直方图规定化的基本思想。因此图像直方图规定化就是为了满足在实际应用中有时变换直方图使之成为某个特定形状的需要,通过选择规定化的函数来有选择地增强某个灰度范围内的对比度或使图像灰度值的分布满足特定的要求。直方图规定化是在运用均衡化原理的基础上,通过建立原始图像和期望图像之间的关系,有选择地控制直方图,使原始图像的直方图变成规定的形状,从而弥补了直方图均衡不具备交互作用的特性,但是正确选取规定化函数是获得比直方图均衡化更好效果的关键。
- 图像空域上的灰度变换方法图像的灰度变换是一种利用逐点运算改变图像像素灰度值的简单实用的图像增强方法,在图像处理中也被称为查找表。灰度变换中的点运算是把输入函数  $f(x, y)$  的每一点依据函数法则进行映射,即输出灰度分布。

$$(20) \quad g(x, y) = \phi f(x, y)$$

式中的映射咖可以是线性、分段线性或者非线性等多种形式的函数,其函数表达式为  $\phi(f) = af + b$ 。除了单段直线变换外,还可以有多段直线变换、非线性变换(如对数变换或指数变换)。具体对应的处理可以有图像求反、增强对比度、动态范围压缩和灰

度切分等方式,一般都根据原始图像的实际情况及所需图像的要求来选择变换,如图像元器件由于具有非线性特征而选择利用与  $45^\circ$  线段对称的变换曲线进行灰度校正。

- 基于同态滤波的图像增强方法同态滤波是图像预处理中的一种常用方法,主要用于解决光照非均匀图像的灰度校正问题。它是把频率过滤和灰度变换结合起来的一种图像处理方法,主要利用图像的照度—**反射分量模型**作为频域处理的基础,通过压缩亮度范围和增强对比度达到改善图像的质量。在基于同态滤波进行图像灰度不均匀校正和增强的方法中,将图像视为入射分量  $i(x, y)$  和反射分量  $\gamma(x, y)$  的乘积:

$$(21) \quad f(x, y) = i(x, y) \times \gamma(x, y)$$

其中入射分量  $i(x, y)$  均匀缓慢变化,频谱集中在低频段,而反射分量  $\gamma(x, y)$  则主要反映了图像的细节特性,频谱主要集中于高频区域。

如果图像存在照度不均匀,则图像上各部分的平均亮度会有起伏,对应于暗区和高亮区的图像细节结构就较难分辨。因此,要消除这种灰度不均匀性,可以在频域上减弱照明函数的成分,同时增强反射函数的频谱部分,使图像上该区域的图像细节得以增强。

在基于同态滤波的增强方法中,是将两个分量的乘积通过对数运算转换为加法运算,然后利用傅里叶时频变换方法,再设计合适的滤波器,来加强高频分量,同时削弱低频成分,从而达到克服非均匀光照,压缩动态范围与增强对比度的目的。

算法中的滤波器函数  $H(u, v)$  又被称为同态滤波函数,它可以分别作用于入射分量和反射分量上。图像的照射分量通常以空间域的缓慢平滑变化为特征,而反射分量往往引起突变,特别是物体的边缘部分,这些特点使图像的低频跟照射分量相联系,而高频部分和反射分量紧密联系。因此算法的关键是设计一个对傅里叶变换的高频和低频分量影响不同的滤波函数  $H(u, v)$ ,一般常选取高斯型同态滤波器进行滤波控制。

在基于同态滤波的图像灰度不均匀校正和增强方法的关键是将公式 1.2 中的照射分量和反射分量通过对数域转换由乘性变换为加性,从而有利于滤波处理。基于同态滤波的图像增强和灰度校正可以在增强高频信息的同时保留低频信息,达到压缩灰度的同态范围,增强图像对比度的效果。对于那些因照度不良导致的图像亮度不足和细节模糊,信噪比较低的图像,增强效果显著。但是,在同态滤波频域算法中需要两次进行傅里叶变换,占用较大的运算空间,实时性不高。

- Retinex 图像增强方法 Retinex 算法最早由 Land 提出的解释人类视觉系统 (HSV, Human Visual System) 如何调节感知物体的颜色和亮度的模型,它的基本思想是人眼感知到某点的光照不仅取决于该点反射出的绝对光照值,还和该点周围反射出的光照值密切相关。Retinex 算法实质上是一种基于**光照补偿的图像增强算法**,由于它成功揭示了人类视觉系统的众多基本特征,并以颜色恒定性为出发点,同时又具备了高动态范围压缩的能力,因此被广泛用于航拍图像和医学图像的增强处理中。



Retinex 算法经过不断发展已经成为真彩图像增强的最出色算法之一, 因此在实际应用中具有极其重要的地位。在 Retinex 算法的基本模型中, 认为图像由亮度图像和反射图像构成, 在此分别用  $L(x, y)$  和  $R(x, y)$  表示, 三者的关系可由式 (22) 来表示:

$$(22) \quad I(x, y) = L(x, y) \times R(x, y)$$

式中,  $L(x, y)$  是亮度分量, 表示被观察者或图像捕捉设备收到的构成图像, 反射分量  $R(x, y)$  决定了图像的内在性质。

Retinex 方法对图像处理的目的就是从图像  $I$  中获得物体的反射性质分量  $R$ 。它的一般步骤是先从原始图像中估计出光照, 然后在对数域中从原图减去光照图像得到增强后的图像。在 Retinex 增强方法模型中, 非均匀光照体现在入射分量中, 它基本上是属于变化较缓慢的低频成分。而图像的细节、反差等特性则主要由图像中物体本身的特性决定, 它反映在图像的反射分量中。将二者的乘法组合通过对数处理变成加法运算组合, 然后进行傅里叶频域变换, 依据入射分量与反射分量所表征的图像性质, 设计出一个合适的滤波器, 使得低频成分削弱, 高频分量适当增强, 从而达到克服非均匀光场, 压缩动态范围与增强对比度的目的。但是, Retinex 方法重建的光照图像是通过对全局平滑得到, 所以阴影边界附近被严重模糊而产生光晕伪影, 此外, 反射率图像的重建依赖于光照图像, 使得对应区域的反射率图像的细节和颜色产生扭曲, 同时, 算法还涉及大量的时频转换时间开销, 所以非均匀光照图像的灰度校正与分割技术研究并不适合工业视觉在线检测系统。

- 梯度域增强方法图像在拍摄时的照度不均匀导致的图像灰度不均匀在梯度场中则表现为梯度的不均匀分布。一般图像的对比度高则梯度的强度大, 结构比较清晰, 因此可以通过扩大图像的梯度范围以增强图像的动态范围, 即通过处理图像梯度场来校正图像获取时照度不均匀导致的灰度不均匀现象。梯度域增强方法是对原始图像的梯度域进行处理, 通过减小图像梯度值来压缩图像的动态范围, 通过增大图像局部梯度值来增强图像的边缘。Subr 等提出了一种利用图像局部差分综合的目标函数来度量图像对比度, 并通过贪婪迭代优化方法实现目标函数的最大值来校正图像的灰度不均匀。Fattal 等人则提出了直接对图像梯度进行修正的方法, 将图像转换到对数域中并求取图像梯度值, 将某一因子作用于每个梯度图像的像素中, 来减弱其梯度值, 然后在梯度域重建图像数据并指数化输出。也可以直接在图像梯度域中对梯度函数使用直方图均衡化方法取代因子, 以此来增强图像局部对比度的同时使图像整体梯度均匀化, 避免了使用 Retinex 方法产生晕环的现象。图像梯度增强方法能较好地保持原图中的细节信息和层次感, 适合于分析图像的高光和阴影区域信息, 缺点是会导致图像在一定程度上产生出锐化效应, 并且在梯度域中重建图像时需要一定的数值计算方法, 不适合于实时性场合的应用。

- 参考标样法基于参考标样的图像灰度不均匀校正的方法是先对具有均匀分布的完全不受光照影响的标样 (比如干净均匀的白纸) 进行成像, 然后利用所获得的标样作为标准参考值来对实际图像进行灰度调整。这种图像增强与灰度校正的方法主要被应用于光照不均匀环境下获取的图像, 或者图像获取设备中的感光元件有差异而造成的图像灰度不均匀的场合, 但是对于一些图像获取环境复杂造成的灰度不均匀或者对比度发生很大改变的图像, 增强与校正效果不是很理想。例如在近距离成像环境下, 由于点光源光照的不均匀性以及光源距离物体的位置不断变化等因素都将导致标样图像的不可参考性与局限性, 使得该方法无法满足灰度不均匀图像的自适应增强与灰度校正的要求。
- 彩色图像中的灰度不均匀校正。在图像的自动分析过程中, 彩色是一种能简化目标提取和分类的重要参量。对彩色图像处理的关键问题是如何选择合适的彩色模型。一般常用的彩色模型是 RGB 模型, 但由于在人眼视觉的特性中, 亮度分量与色彩分量是分开的, 并且色调和饱和度与人的视觉感知是紧密相连的, 因此在彩色图像处理中常采用 HSI 模型。由于照度不均匀主要体现在图像的亮度信息中, 因此对于彩色图像的灰度不均匀的校正, 一般都是通过将图像从 RGB 空间转换到 HSI 模型中, 对含有亮度信息的 1 分量利用灰度图增强校正的方法处理, 再将结果转换为 RGB 空间。在图像的 HSI 空间进行图像灰度校正与增强, 并没有改变原图的彩色内容, 但由于亮度分量得到了校正与增强, 整个图像会比原来更亮一些。

## REFERENCES

- [1] 付中梁, 冯华君, 徐之海, 李奇, and 毛成军. 基于快速 ccd 位移探测的运动模糊图像的恢复. 光电工程, 36(3):69–73, 5 2009.
- [2] 刘羽. 像素级多源图像融合方法研究. 博士论文, 中国科学技术大学, 9 2016.
- [3] 周望. 基于数字微镜器件技术提高面阵 ccd 相机动态范围的研究. 光学学报, 29(3):638–642, 6 2009.
- [4] 和文娟. Cmos 图像传感器的噪声分析及图像处理. 硕士论文, 华中科技大学, 4 2011.
- [5] 张芮, 姚明海, and 顾勤龙. 车辆牌照识别系统的一个新的实现方法. 控制工程, 10(1):59–61, 1 2003.
- [6] 徐培凤. 基于图像处理的自动对焦和自动曝光算法研究. 硕士论文, 江苏大学, 7 2005.
- [7] 李利民 and 刘明辉. 基于机器学习算法的人脸识别鲁棒性研究. 中国电子科学研究院学报, 12(2):219–224, 6 2017.
- [8] 李艳梅. 图像增强的相关技术及应用研究. 博士论文, 电子科技大学, 6 2013.
- [9] 杨灿. 基于 labview 的汽车行驶跑偏测试系统研究开发. 硕士论文, 武汉理工大学, 8 2010.
- [10] 王燕, 曹银杰, 郎丰法, 黄慧, and 于朋朋. 基于 emgu cv 的数字相机图像采集. 电子科技, 25(4):31–32, 7 2012.
- [11] 许欣. 图像增强若干理论方法与应用研究. 博士论文, 南京理工大学, 10 2010.
- [12] 谢伟, 周玉钦, and 游敏. 融合梯度信息的改进引导滤波. 中国图象图形学报, 21(9):1119–1126, 10 2016.
- [13] 赵书睿. 全景图像拼接关键技术研究. 硕士论文, 电子科技大学, 6 2013.
- [14] 魏伟一. 非均匀光照图像的灰度校正与分割技术研究. 博士论文, 兰州理工大学, 8 2011.
- [15] 黄辉煌. 基于多核并行技术的高铁接触网绝缘子异常检测系统的研究与实现. 9 2017.