

文章编号 1004-924X(2017)07-1900-09

移动高光对三维场景重建的影响与消除

全思博*, 李伟光

(华南理工大学机械与汽车工程学院, 广东 广州 510641)

摘要:针对制造车间光滑地面在阳光或灯光照射下的扫描图像往往存在反射光斑,且随相机位置变化而变化,会严重干扰图像处理和利用的问题,提出了一种识别和去除高光的方法,用于改善图像处理效果和三维重建精度。基于扫描序列图像的三维场景重建流程和 SURF 特征原理,分析移动的高亮反光斑对图像特征点提取和匹配的影响;对于缺乏表面纹理的灰度图像,提出一种基于逐行多级阈值和动态模板高光识别与去除方法,保留非高光点的特征信息,识别与修复同步完成。实验结果表明,无高反光的前后两帧图像的匹配特征点对比有高光情况下至少高出 8%,优化后的余留匹配特征点更多;扫描一段 30 m 长的车间场景序列图像,用提出的方法修复高光后进行三维重建,点云拼接误差减小了 10 cm。表明移动高光对图像序列三维重建有不可忽视的影响,本文提出的方法能有效地去除高光。

关键词: Kinect; 车间场景; 三维重建; 高光消除; 特征匹配

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20172507.1900

Influence and elimination of moving highlight on three-dimensional scene reconstruction

QUAN Si-bo*, LI Wei-guang

(School of Mechanical & Automotive Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

* Corresponding author, E-mail: quan_sibo@mail.scut.edu.cn

Abstract: The scanned image of the smooth ground in the manufacturing workshop had reflection light spot under the irradiation of sunshine or lamplight; and it was varied with the change of the camera shooting position. Based on 3d scene reconstruction procedures and SURF algorithm principle of the Kinect scanning sequence images, influences of mobile highlight reflector on extraction and matching of feature points for reference images and images which are waiting for being matched were analyzed. The experimental result shows that compared with match feature points for the frame image with high reflection, match feature points for the frame image without high reflection is at least higher 8%; and remaining match feature points are more after being optimized. In addition, highlight recognition and removal method should be discussed; in terms of grey level images which lack surface texture, based on progressive multilevel threshold and dynamic template, a kind of processing method was proposed; non highlight feature information was not changed; and processing time was saved; recognition and repair were synchronously completed. The experiment shows that in terms of 30m length of sequence

收稿日期:2016-10-25;修订日期:2016-12-06.

基金项目:广东省数控一代机械产品创新应用示范工程专项资助项目(No. 2013B011301026)

image for scene in the workshop which is scanned by Kinect, its light should be repaired by the method proposed in the thesis; and it should be subject to three-dimensional reconstruction; point cloud registration error should be at least reduced by 10cm.

Key words: kinect; workshop scene; 3D reconstruction; highlight removal; feature matching

1 引言

基于单或双相机扫描序列图像而进行场景三维重构和机器人导航的技术应用日益增多,例如 Kinect 扫描,就是利用红外结构光和红外相机获取深度信息、彩色相机同步获取 RGB 信息,然后由 RGB 图像帧序列求得传感器位姿变换关系,最终由深度数据得到点云并根据位姿变换关系拼接而得到全局三维点云。已有的 Mapping、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 和帧间配准等相关算法^[1-2],虽然有些具体差异,但是对于理想的光照环境,都可以较好地实现室内场景的三维重建。然而一旦环境中存在高光反射或亮度不均等复杂光照条件时,重建效果则会大大降低,产生闭环错误,甚至重建失败。

真实物体表面通常都不符合朗伯体均匀漫反射,而是还包括有镜面反射。现实中常常遇到的高光现象会改变物体表面的外观,掩盖其细节特征或者形成新的非固有特征^[3],导致很多视觉处理算法产生错误的结果。有许多学者对高光抑制和光的反射分量分离问题进行了研究,包括基于改造照明条件(例如偏振/极化的方法)并添加扩散板的方法和基于多张图像序列和单张图像的软件方法。第一类方法能够准确地去除图像中的高光,但是需要额外的偏振滤镜^[4]或者扩散板^[5],并且只能应用于图像采集阶段,无法处理已获取的图像。第二类方法通过在不同图像中寻找同一区域的信息进行融合而消除镜面反射分量^[6]。由于高光本身就会对图像特征提取与匹配造成干扰从而会影响帧间变换矩阵的计算,故难以获得良好精度,并且计算复杂且实时性差。人们对基于单张图像进行反射分量分离的方法更感兴趣,然而所进行的研究只涉及静物表面零星弱反光的分离^[7-8],甚至一些研究仅为改善人眼的视觉观察效果^[9]。基于视觉导航或基于扫描序列图像而进行场景的三维重构与之不同,一方面可能遇到强烈高光,另一方面需要图像帧间配准^[10]。现有改善

机器人视觉定位的精度和效率的尝试只在理想光照条件下进行^[11],未涉及高光干扰。对于大范围复杂环境及多区域高光的情况,尤其是面向工业环境(例如制造车间)三维重建中的高光问题至今尚未见有研究。

车间常用瓷砖铺设地面,或者用树脂漆涂刷地面,在阳光或灯光照射下,地面产生强弱不同的反光斑,且随摄像位置变化而变化。对于三维重构、无人搬运车导航(Automated Guided Vehicle AGV)、视觉引导机器人操作等应用目的而言,基于图像特征提取与配准的方法对光照因素敏感,因此这是必须解决的问题。本文面向车间环境进行这方面的探讨。先阐述三维重建流程,接着分析高光影响机理,然后提出图像的高光识别与分离方法,再实验验证高光对特征提取与匹配的影响,最后以瓷砖地面车间图像为对象,用去除高光前后的序列图像进行三维重建对比试验。

2 三维场景重建流程

Kinect 的 RGB 相机与红外深度相机对应点之间的映射关系为^[12]:

$$\begin{pmatrix} X_{\text{rgb}} \\ Y_{\text{rgb}} \\ Z_{\text{rgb}} \end{pmatrix} = \mathbf{R} \begin{pmatrix} X_{\text{ir}} \\ Y_{\text{ir}} \\ Z_{\text{ir}} \end{pmatrix} + \mathbf{t}, \quad (1)$$

式(1)中 X_{rgb} 、 Y_{rgb} 、 Z_{rgb} 分别是空间点在 RGB 图像中的坐标, X_{ir} 、 Y_{ir} 、 Z_{ir} 分别是该点在红外图像中的坐标, \mathbf{R} 和 \mathbf{t} 为 RGB 相机和红外相机之间的变换矩阵。

利用 Kinect 扫描而实现三维场景重建的方法由特征点检测、帧间配准、闭环检测以及位姿图优化等部分构成,其中特征提取—帧间配准是重点。这方面有 SIFT 经典算法^[13],而 SURF 算法运用图像积分技术对 SIFT 加速,近年又有采用分块特征匹配的 Modified-SURF 等改进方法^[14]使计算速度进一步加快。该方法主要包括三个步骤:基于 Hessian 矩阵计算的特征点检测;利用特征点周围邻域的信息生成特征描述子;采用最小欧氏距离等算法的特征点匹配。

先获得扫描图像序列中参考图像 F1 和待配准图像 F2 两者之间一一对应的特征点,如式(2)所示。

$$\begin{aligned} P &= \{p_1, p_2, \dots, p_N\} \in F_1 \\ Q &= \{q_1, q_2, \dots, q_N\} \in F_2 \end{aligned} \quad (2)$$

接下来求出旋转矩阵 \mathbf{R} 和位移矢量 \mathbf{t} ,使得:

$$\forall_i, p_i = R_{q_i} + \mathbf{t}. \quad (3)$$

由此就可以描述传感器在拍摄 F1 与 F2 时的位姿变换关系,式(1)得解。

3 高光影响分析

3.1 特征点提取

Hessian 矩阵是 SURF 算法的核心^[14],如式(4)。

$$\mathbf{H}(x, y, \sigma) = \begin{bmatrix} L_{xx}(x, y, \sigma) & L_{xy}(x, y, \sigma) \\ L_{xy}(x, y, \sigma) & L_{yy}(x, y, \sigma) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

式中 σ 为特征尺度不变性因子; L_{xx} 、 L_{xy} 和 L_{yy} , 分别表示 $L(x, y, \sigma)$ 沿 X、XY 和 Y 方向的二阶偏导数; $L(x, y, \sigma)$ 为尺度可变高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ 与图像函数 $I(x, y)$ 在点 (x, y) 的卷积如式(5)。

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma) \cdot I(x, y). \quad (5)$$

计算各点 \mathbf{H} 矩阵后,每个像素点与其三维邻域的 26 点进行比较,如果其特征值是最大值或最小值,则当做初步的特征点保留。极值的判别需借助 \mathbf{H} 矩阵判别式如式(6)。

$$\det(\mathbf{H}) = L_{xx} \cdot L_{yy} - L_{xy}^2. \quad (6)$$

判别式的值为 \mathbf{H} 矩阵特征值,即 X 和 Y 方向的曲率。求出每个极值点两个特征值的比值,设定一个阈值,舍去偏差大于阈值的点,就可去除大量特征不强的点。经极值检测筛选,只有少量特征最强点被保留下来。

特征检测是帧间配准的基础,其结果直接决定了整个三维重建的质量。所谓尺度不变特征点,就是一些独特位置的点,通常为边缘上的角点和斑点(即与邻接点亮度变化率极大的高频点)。特征点应该是图像中的一些稳定点,不会因照明强弱或角度的变化而消失(譬如早上或中午、阳光或灯光照明,目标特征点都是稳定的,并非指视场内有移动光源或反光斑)。AGV 携带 Kinect 边运动边扫描过程中,天花板上光源的照明方向随之移动,地面反光块亦随之变化,故直接影响识别图像中的“稳定点”(这种与周围地面和参照物产

生相对位移的干扰完全不似对静态场景从不同位置拍摄两幅图的情况,后者参照体系不变,同一特征在两图中的对应关系容易识别)。更直接地,式(5)表明 Hessian 矩阵元素由像素亮度决定。图像中有移动高光时,该区域的原有信息被高光掩盖,前后两帧图像中同一目标点的 $I(x, y)$ 可能不同,有些并非其本征漫反射信息,因而会形成错误的矩阵元素,通过式(4)和式(6)计算出的参考图像与待配准图像的 Hessian 矩阵特征值就不一致,从而导致错误的特征点识别。此外,高反光区的非朗伯表面特性使得红外激光散斑无法反射回红外摄像头,导致深度数据缺失。

3.2 生成特征描述子

识别出特征点后,需选取特征点主方向来保证描述子的旋转不变性,这可通过统计特征点邻域内的 Harr 小波特征来实现,即统计以特征点为中心、正比于特征点尺度的某个数为半径和张角的扇形区域内所有像素点在 X 和 Y 方向的 Harr 小波响应总和并对其赋高斯权重系数(靠近特征点的响应贡献大)。计算一定张角扇形范围内合成向量的角度和模长,将扇形沿逆时针以一定步长旋转,遍历圆形区域,选择最大矢量方向作为该特征主方向。

然后构造特征点描述算子。以特征点为中心,在周围取一个符合主方向且边长为正比于特征点尺度一定倍数的正方形框,将其旋转至与主方向对齐;将其分为 4×4 的 16 个子区域,统计每个子区域内各像素 X 和 Y 方向的 Harr 小波特征,得到 4 个系数。16 个子区域共生成 $4 \times 4 \times 4 = 64$ 维向量,即描述子,用其进行特征匹配。

Kinect 边运动边扫描过程中,由于反射光斑随之移动和变形,使得待匹配的前后两帧图像中同一目标特征点的邻域信息被改变而 Harr 小波响应特征不一致。因在求取特征点主方向时完全依赖局部区域像素的梯度方向,会直接影响找到的主方向准确性,而后续的特征向量提取及匹配都严重依赖于主方向,即使不大的偏差角度也可能造成特征匹配的较大误差甚至错误。

3.3 特征点匹配

生成特征描述子后,先通过计算 Hessian 矩阵的迹来进行特征匹配点的初始判断。特征点及其周围小邻域的亮度比背景区域大时, Hessian 矩阵的迹为正值;特征点及其周围小邻域的亮度

比背景区域小时, Hessian 矩阵为负值。根据此特性对两个特征点 Hessian 的迹进行比较, 同号表明两个特征点具有相同的对比度, 否则说明两个特征点的对比度不同, 就放弃特征点之间后续的相似性度量。

然后采用欧式距离来度量两个特征向量的匹配。计算待匹配图上特征点到参考图像上所有特征点的欧氏距离, 得到一个距离集合, 对其作比较运算得到最小和次最小的欧式距离。设定一个阈值, 当最小和次最小欧式距离的比值小于该阈值时, 则认为特征点与对应最小欧氏距离的特征点是匹配的, 否则没有点与该特征点相匹配。阈值设定得越小, 匹配点对就越少, 但匹配更稳定。

显然, 存在移动高光干扰的情况下, 将可能使特征点及其周围邻域的亮度与背景区域的对比度发生大的改变, 从而直接影响参考图像帧与待匹配图像帧特征点的相似性判断。

如果匹配了错误的特征点对, 则后续求得的旋转矩阵 R 与位移矢量 t 必然存在明显误差, 无法正确计算相机姿态变化, 三维重建的精度也就无法保证。

4 消除高光的方法

如前所述, 虽已有许多高光问题的研究文献, 但是面向大范围复杂环境及多区域高光的工程场景的研究仍然缺乏, 更无三维扫描与重建中的移动反光问题的研究。本文作者分别研究了彩色和灰度图像的高光去除方法。限于篇幅, 对彩色图像另文专述, 本文面向缺乏纹理特征的瓷砖地面(如图 1 所示, 灰色地面的 R、G、B 三分量几乎等



图 1 车间局部场景

Fig. 1 Partial scene of workshop

色, 无法用彩色图像的色度方法^[15]分离高光), 考虑用图像灰度信息进行高光识别与修复, 满足车间场景三维重建和 AGV 导航等应用需求。

4.1 亮度阈值法

图像的灰度值从 0 至 255, 对应亮度逐渐增大。有镜面反射像素的亮度值比仅有漫反射像素的亮度值大, 设定一个阈值就可以分离高光。该方法计算简单, 不受图像对比度的变化影响, 故在许多实时图像处理系统中得到广泛应用。该方法的关键是如何确定最佳分割阈值, 通常利用图像的灰度直方图信息来获取, 其中最大类间方差法被认为是自动选取阈值的最优方法。

应用单阈值方法来分割图 1 场景, 只有地面最强的反光区域被分割开来, 较弱的反光区域并未被识别。改用多阈值判据分割图像能在一定程度上改善高光识别效果, 反映出原图中有强光区及其次高光区, 但是仍难以细分各种程度的亮度区域。

对分离出的高光像素使用 3×3 卷积模板并设权重, 利用该点邻域信息对其进行平滑修复, 结果如图 2 所示。可见八邻域信息远不足以修正占相当面积的块状强反光, 虽减弱了原图高光区的亮度, 但仍有较高亮度并且范围扩大, 形成了明显的疤块, 修复效果不佳。



图 2 利用邻域信息修复结果

Fig. 2 Restoring effect using neighbour-hood information

4.2 直方图变化法

以概率论为基础的直方图均衡法因其有效性和简单性而被广泛应用, 其基本原理是根据输入图像的灰度概率密度函数确定映射函数, 使得输出图像的直方图呈现均匀分布, 图像的对比度增强, 但是处理后图像的均值接近于灰度范围的中点, 与原图像无关, 而且由于原图像中各灰度级的

概率密度不同,直方图均衡后会拉伸一部分灰度级,另一部分灰度级则被合并,导致部分细节信息丢失并产生过增强现象。为了克服这种情况,改善直方图均衡效果,学者们提出了一些改进算法,其中保持亮度的双直方图均衡法^[16]比较受关注,后人提出的最小均值误差双直方图均衡和递归均值法分离直方图均衡都是它的扩展。双直方图均衡处理后的图像视觉效果好于直方图均衡,能部分保持图像亮度均值,但处理后拉伸一部分灰度级而合并另一部分灰度级,使得原图像特征信息丢失的根本弊病仍在。

直方图规定法可以选择性地使图像灰度值的分布发生变化,故可以有效地消除图像中的高光,但该法仍需先进行直方图均衡化。对上述车间场景单幅图像先用亮度阈值将图像分割为高光区域与非高光区域两组子图像,对高光区域子图像的亮度值进行校正,修正后的结果如图 3 所示,虽然在人眼视觉效果上比阈值判别和模板平滑法修复得更均匀,但其实是把其他物体的灰度不合理地调和了,修复图与原图的直方图相比有很大变化,这意味着原图的许多特征被改变。由图 5 可见,修复图与原图的灰度直方图相比有很大变化,这意味着原图的许多特征被改变。



图 3 直方图规定化法处理结果

Fig. 3 Restoring effect using histogram specification method

4.3 逐行/列动态亮度阈值方法

本文面向车间场景图像探讨高光识别与修

复,并非为改善人眼视觉效果,而是以三维重建和 AGV 导航等工程应用为目的。基于序列图像进行特征点匹配的后续处理需要前后帧图像尽可能多地包含相同特征信息。上述单或多阈值方法、直方图方法都是从全图整体的视角来识别高光,人为地调和掉原有图像特征。本文提出一种划分前景与背景、基于逐行(列)灰度分布采用多级阈值识别和动态模板修复高光的处理方法。其指导思想是鉴于一帧图像中各个区域物景分布可能很不相同,为不改变非高光区特征信息并节省处理时间,可根据本行(列)的灰度分布动态分级和选用修复参数,只在本行(列)的最小范围内合理均衡各级高光,识别与修复同步完成。

一幅灰度图像由前景(目标物)和背景构成。若前景并非强反光性质的表面,场景扫描图像的移动高亮反光斑则主要在背景产生。以 x 表示像素位置,前景像素亮度为 $I_F(x)$,背景像素亮度为 $I_B(x)$ 。基于先验或实验得出 $I_F(x)$ 与 $I_B(x)$ 各自的正常分布范围且不交迭(譬如分别在以 I_f 和 I_b 为中值的区段且 I_f 明显小于 I_b),则以一个简单阈值 I_b 可将前景与背景分离。这是前述亮度阈值法的基本功能。下面去除高亮反光的操作只在去掉了前景之后的背景图像上进行。

基于先验或实验确定背景在无高亮反光情况下的正常灰度分布范围,若为 $I_b \pm I_1$,其中 I_b 为中值, $\pm I_1$ 为动态范围,则当前图像行上灰度不大于 $I_b + I_1$ 的像素也是可忽略无需操作的。对当前行有灰度超过 $I_m + I_1$ 的点,视其高亮程度作不同处理,避免生硬替代而产生太陡的灰度梯度。设一个高阈值 I_H (可以先设一个初值,譬如超出 $I_b + I_1$ 的 10%,然后用计算机程序围绕该值上下求优),对 $I(x) > I_H$ 的点,考虑其相邻像素亮度可能也高,起不到适当调节作用,故用接近 1 的权重 W 和中值 I_b 对其赋值;对 $I_m + I_1 < I(x) < I_H$ 的点,则利用其左、右在 $I_b \pm I_1$ 范围内的 n 点灰度信息,将平均值赋予它。以 $I'_B(x)$ 表示去除高光操作后的背景亮度,可表达如式(7)。

$$I'_B(x) = \begin{cases} I_B(x), & \text{当 } I_B(x) < I_b + I_1 \\ WI_B(x), & \text{当 } I_B(x) < I_H \\ \left(\sum_{x=i-n}^{i-1} I_B(x) + \sum_{x=i+1}^{2n} I_B(x) \right) / 2n, & \text{当 } I_b + I_1 < I_B(x) < I_H \end{cases} \quad (7)$$

逐行重复上述操作,完成整幅图的修复。

用此方法对上述车间场景单幅图像高光识别与修复的结果如图4所示。修复图与原图的直方图分布曲线几乎重合(见图5,彩图见期刊电子版)。修复后图中任一行(列)(如图4中黄色横线)的灰度分布与原始图(除高光像素外)的灰度分布相同,这意味着在修复高光的同时原图特征被很好地保留。而且本文方法高光识别与修复同步完成,比直方图方法节省时间(处理上例图像分别为7 ms和10 ms)。



图4 逐行动态阈值法识别与修复反光的结果

Fig. 4 Restoring effect using progressive grayscale profiles method

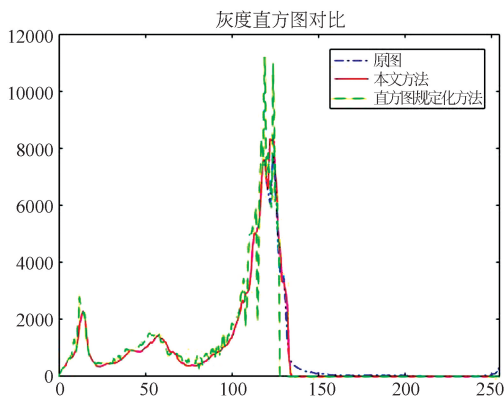


图5 原始图与两种方法修复图的直方图对比

Fig. 5 Histogram comparison of two methods

5 高光影响和三维重建实验

5.1 车间图像特点和实验设计

如图1所示的工作间场景,左右两墙无窗,前后分别为大面积窗子和门,多组日光灯分布式安装在天花板上,在光滑的瓷砖地面上形成了若干集中的强镜面反射区,其周围有弱反光。

实验前在地面贴黄黑相间的标示线,用于扫描路径指引以及判断扫描重建闭环效果。图像采集设备为装备有 Kinect 的移动机器人,其核心为高性能 ARM 嵌入式计算机。软件系统基于 ROS,并采用 RGBD-SLAM 算法进行数据采集与三维重建。机器人通过 WiFi 与主机通讯并接受其操控。Kinect 架设在机器人上离地 1 米的高度,并且垂直视角的上沿与水平面平齐。移动机器人沿着黄黑标示线绕行一圈采集 RGB-D 图像数据。

以地面对日光灯的反光为研究对象,并排除门窗外自然光干扰。开启天花板日光灯,在地面上产生多组分布式反射高光块,它们会随着 Kinect 传感器移动而发生相对位置变化。

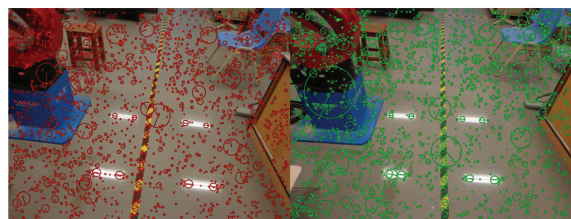
5.2 高光对特征点提取和匹配的影响

分别检测在有、无反射高光的情况下参考图像和待匹配图像的候选特征点数量,验证高光对单帧图像特征点提取的影响,结果如图6所示。无高反光的左、右图中分别提取到 1 957 和 2 004 个特征点;有高光反光的左、右图中分别提取到 1 987 和 2 018 个特征点。



(a)无高光的左、右帧图像中提取的特征点

(a) Acquired feature points in left and right frames of highlight-free original image



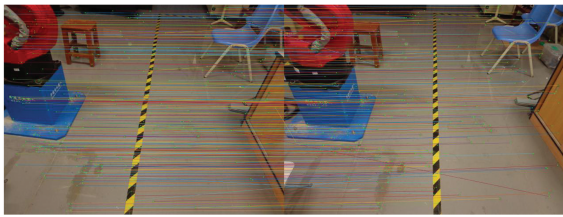
(b)有高光的左、右帧图像中提取的特征点

(b) Acquired feature points in left and right frames of original image with highlight

图6 参考和待匹配图像的候选特征点

Fig. 6 Candidate features of reference and to be matched images

再分别检测有、无反射高光情况下前后两帧场景图像特征点对匹配数量,验证高光对特征点匹配的影响,结果如图 7 所示。无高光反光的图像对中匹配得到 327 对特征点;有高光反光的图像对中匹配得到 302 对特征点。尽管有高光单帧图像中的特征点更多,但是图像中特征点匹配率远低于无高光图像对,说明有高光反光的两帧图像中各有相当数量的错误特征点,互相匹配不上。进一步用 RANSAC 优化匹配特征点对来剔除不符合平面约束的野点^[17]。相同参数条件下,有高光反光的图像对比无高光反光的图像对的余留匹配特征点对数量低 28%。这只是前后两帧(一对)图像的高光影响结果,而一次扫描的图像少则数百帧多则数千帧,其产生的累计误差将不容忽视。



(a) 无高光的两帧图像匹配的特征点对

(a) Patched feature pairs of highlight-free image pair



(b) 有高光的两帧图像匹配的特征点对

(b) Patched feature pairs of image pair with highlight

图 7 参考和待匹配图像的匹配特征点对

Fig. 7 Matched feature pairs of reference and to be matched image pair

5.3 高光消除方法对三维重建的影响

图 8、图 9 和图 10(彩图见期刊电子版)分别为用扫描图 1 车间场景所得的序列原始图像、用亮度阈值法识别并用邻域信息抑制高光后的序列图像以及用本文方法识别并同时去除高光后的序列图像进行三维重建后的效果(图中彩色为重建后 RGB 渲染)。未进行高光处理时

重建的场景中日光灯影明显,地面标志线(周长 30 m)轨迹有明显变形(大于 20 cm);用传统邻域信息卷积模板处理高光后,由于每组日光灯反光光斑面积比较大,高光像素周围的像素也大部分是高光,故只是一定程度抑制高光,重建的场景效果虽然得到很大改善,但是仍留有较高强度的光晕,且起始与终止扫描处(图中红色标记位置)未能完整吻合(误差约 10 cm)。用本文方法去除高光并重建后的场景已完全消除了日光灯影,标志线轨迹正确,起始与终止扫描处闭合。可见相比之下采用本文方法去除高光后重建场景效果比较好。

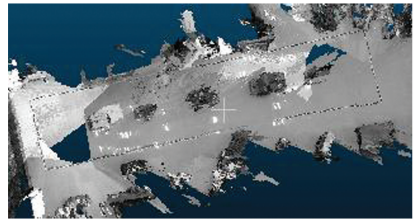


图 8 原始序列图像重建效果

Fig. 8 Reconstruction result using original image sequence

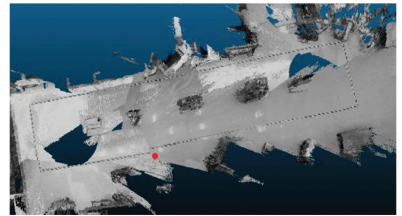


图 9 用邻域信息卷积模板修复高光后的序列图像重建效果

Fig. 9 Reconstruction result using image sequence restored by neighbourhood information

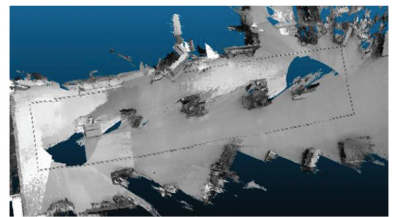


图 10 用本文方法去除高光后的三维重建效果

Fig. 10 Reconstruction result using image sequence restored by progressive grayscale profiles method

6 结 论

利用序列图像进行三维重建时,图像特征提取与配准是影响重建精度的关键环节。扫描过程中高亮反光斑随着传感器的移动而与周围参照物产生相对位移,引起场景特征及其邻域信息的变化。实验表明,尽管有高亮反光时单帧图像中高亮以外有众多特征点,但是前后帧图像对中初始匹配特征点对和优化后余留匹配特征点对分别比无高光时的情况低8%与28%,说明移动高反光使前后两帧图像中各有相当数

量的错误特征点匹配不上或者匹配错误(即野点);帧间配准形成的累计误差最终严重影响三维重建的精度。

为去除扫描场景图像中的反射高光,对无法用彩色图像色度方法分离高光的灰色瓷砖地面车间场景,提出基于逐行(列)灰度分布特点而分级并用动态模板修复亮斑的方法,只在本行(列)最小范围内合理均衡各级高光,最大限度保留原图特征并节省处理时间。实验证明该法能够同时有效地识别并修复车间图像的地面高反光区。将基于此法去除高光后的图像序列进行三维重建,得到比较满意的重建精度。

参考文献:

- [1] ENDRES F, HESS J, STURM J, *et al.*. 3-D mapping with an RGB-D camera [J]. *IEEE Transactions on Robotics*, 2014, 30(1): 177-187.
- [2] LEE S, LEE I, EEM C, *et al.*. Using visual feature and geometric constraints for robot localization [J]. *International Journal of Control and Automation*, 2015, 8(5): 281-292.
- [3] NGUYEN T, VO Q N, YANG H J, *et al.*. Separation of specular and diffuse components using tensor voting in color images [J]. *Applied Optics*, 2014, 53(33): 7924-7936.
- [4] MIYAZAKI D, TAN R T, HARA K, *et al.*. Polarization-based inverse rendering from a single view [C]. *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Computer Vision*, IEEE, 2003, 2: 982-987.
- [5] 孙永建, 孙晓明, 刘云起, 等. 基于线性扩散板的高光抑制方法研究[J]. *液晶与显示*, 2016, 31(9): 897-901.
SUN Y J, SUN X M, LIU Y Q, *et al.*. Specular highlight suppression method based on linear diffuser [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Display*, 2016, 31(9): 897-901. (in Chinese)
- [6] 卓武汉, 严京旗. 基于SURF的连续帧图像配准及高光去除[J]. *微型电脑应用*, 2011, 27(1): 37-39.
ZHUO W H, YAN J Q. Animation image registration and luster removal image composition technology based on SURF feature [J]. *Microcomputer Applications*, 2011, 27(1): 37-39. (in Chinese)
- [7] TAN R T, IKEUCHI K. Separating reflection components of textured surfaces using a single im-
age [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2005, 27(2): 178-193.
- [8] SHEN H L, ZHENG Z H. Real-time highlight removal using intensity ratio [J]. *Applied Optics*, 2013, 52(19): 4483-4493.
- [9] 蔡铁峰, 朱枫, 郝颖明, 等. 面向人眼探测识别的灰度图像伪彩色化方法[J]. *红外与激光工程*, 2015, 44(S): 213-219.
CAI T F, ZHU F, HAO Y M, *et al.*. Pseudo-color processing of gray images for human visual detection and recognition [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(S): 213-219. (in Chinese)
- [10] 李劲澎, 姜挺, 肖达, 等. 基于关系图的无人机影像三维重建[J]. *光学精密工程*, 2016, 24(6): 1501-1509.
LI J P, JIANG T, XIAO D, *et al.*. On diagram-based three-dimensional reconstruction of UAV image [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2016, 24(6): 1501-1509. (in Chinese)
- [11] 陈卫东, 张兴家, 朱奇光, 等. 基于混合特征的移动机器人图像匹配算法[J]. *中国机械工程*, 2015, 26(9): 1136-1141.
CHEN W D, ZHANG X J, ZHU Q G, *et al.*. An image matching algorithm for mobile robot localization based on hybrid features [J]. *China Mechanical Engineering*, 2015, 26(9): 1136-1141. (in Chinese)
- [12] BETHENCOURT A, JAULIN L. 3D reconstruction using interval methods on the Kinect device coupled with an IMU [J]. *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2013, 10: 1.
- [13] 刘洋, 韩广良, 史春蕾. 基于SIFT算法的多表情人脸识别[J]. *液晶与显示*, 2016, 31(12):

1156-1160.

LIU Y, HAN G L, SHI CH L. Recognition of expression-variant faces based on SIFT method [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(12): 1156-1160. (in Chinese)

- [14] 赵立荣, 朱玮, 曹永刚, 等. 改进的加速鲁棒特征算法在特征匹配中的应用[J]. *光学 精密工程*, 2013, 21(12): 3263-3271.

ZHAOL R, ZHU W, CAO Y G, *et al.*. Application of improved SURF algorithm to feature matching [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(12): 3263-3271. (in Chinese)

- [15] SHAFER S A. Using color to separate reflection components [J]. *Color Research & Application*,

1985, 10(4): 210-218.

- [16] TANG J R, ISA M A T, ASHIDI N. Intensity exposure-based bi-histogram equalization for image enhancement [J]. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 2016, 24(5): 3564-3585.

- [17] 翟优, 熊伟, 曾彦. 利用单应约束实现结构化场景的匹配扩展[J]. *光学 精密工程*, 2015, 23(10): 466-471.

ZHAI Y, XIONG W, ZENG L. Matching extension for structured scenes based on homography constraint [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(10): 466-471. (in Chinese)

作者简介:



全思博(1983-),男,江西安义人,博士研究生,2010年于新加坡南洋理工大学获得硕士学位,主要从事机器人视觉的研究。

E-mail: quan_sibo@mail.scut.edu.cn



李伟光(1958-),男,江西南昌人,教授,博士生导师,1995年、1998年于华南理工大学分别获得硕士、博士学位,主要从事智能制造的研究。E-mail: wguangli@scut.edu.cn