



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108519064 B
(45)授权公告日 2019.12.03

(21)申请号 201810358622.X

(22)申请日 2018.04.20

(65)同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108519064 A

(43)申请公布日 2018.09.11

(73)专利权人 天津工业大学
地址 300387 天津市西青区宾水西道399号

(72)发明人 宋丽梅 茹愿 郭庆华

(51) Int. Cl.
G01B 11/25(2006.01)

审查员 马煦

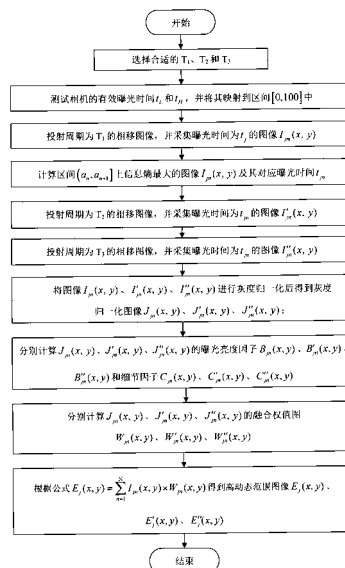
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法

(57)摘要

本发明属于三维机器视觉领域,涉及一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法。该方法通过投射3种周期分别为 T_1 、 T_2 和 T_3 的正弦或者余弦规律变化的光信息,每种光信息需要经过4-8步相移,通过采集每个周期不同相移下的多幅不同曝光时间图像,分别计算每幅图像的曝光亮度因子和细节因子,得到每幅图像的融合权值图。最后通过图像融合到高动态范围图像,进而通过三维重建获得反光物体的全貌三维信息。本发明所设计的反光抑制方法,优于传统多频率相位解相方法,可以有效的解决三维测量中被测物体表面反光的测量难题,无需喷涂显影剂,更加绿色环保。



CN 108519064 B

1. 一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法,其特征是,包含步骤如下:

步骤1:启动用于投射多种波长光信号的光源投射装置,所述的光源投射装置的分辨率为 $L_R \times L_C$;设置相移图像的相移步数为 M ,且 $M \in [4, 8]$;设置相移图像的投射周期 T_1 、 T_2 和 T_3 的值, T_1 、 T_2 和 T_3 的取值均处于 $0-L_R$ 之间,所述的 T_1 和所述的 T_2 的合成周期为 T_{12} ,所述的 T_2 和所述的 T_3 的合成周期为 T_{23} ,所述的 T_{12} 和所述的 T_{23} 的合成周期为 T_{123} ,所述的 T_{123} 大于或等于 L_R ,按照公式(1)计算得到所述的 T_{12} 、 T_{23} 和 T_{123} ;

$$T_{12} = \left| \frac{T_1 \times T_2}{T_1 - T_2} \right| \quad T_{23} = \left| \frac{T_2 \times T_3}{T_2 - T_3} \right| \quad T_{123} = \left| \frac{T_{12} \times T_{23}}{T_{12} - T_{23}} \right| \quad \text{公式(1)}$$

步骤2:在被测物体所在的场景下,进行有效曝光时间的测定, t_L 为相机的最小有效曝光时间, t_H 为相机的最大有效曝光时间,将 $[t_L, t_H]$ 映射到区间 $[0, 100]$ 中,将所述的区间 $[0, 100]$ 等分为 N 个区间, N 大于等于4,则第 n 个区间的左端点 a_n 可由公式(2)运算得到;

$$a_n = \frac{(n-1) \times 100}{N}, \quad n=1, 2, \dots, N \quad \text{公式(2)}$$

步骤3:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_1 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ;设置搜索距离为 δ , δ 为整数,且 $\delta \in [5, 10]$,假设每步相移采集图像的幅数标记为 m ,所述的 m 为整数,且取值分别为 $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots, \frac{100}{\delta}$;按照公式(3)计算曝光时间变化量 Δt ;第 j 步相移时, $j=1, 2, \dots, M$,依次设置相机的曝光时间 t_j ,所述的 $t_j = t_L + m \Delta t$;假设采集到的每幅图像的每个像素点的灰度值标记为 $I_{jm}(x, y)$,每个灰度级出现的概率标记为 p_i , $i=0, 1, 2, \dots, 255$,按照公式(4)计算每幅图像的信息熵 $H_{jm}(p_i)$;

$$\Delta t = \frac{\delta \times (t_H - t_L)}{100} \quad \text{公式(3)}$$

$$H_{jm}(p_i) = \sum_{i=0}^{255} p_i * \log\left(\frac{1}{p_i}\right) \quad \text{公式(4)}$$

步骤4:利用步骤2中计算获得的 a_n ,依次设置搜索区间 $(a_n, a_{n+1}]$,得到每个区间上信息熵最大的图像 $I_{jn}(x, y)$ 及其对应曝光时间 t_{jn} ;

步骤5:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_2 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ,第 j 步相移时,依次设置相机的曝光时间为 t_{jn} ,采集每幅图像,将采集到的每幅图像的每个像素点的灰度值标记为 $I'_{jn}(x, y)$;

步骤6:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_3 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ,第 j 步相移时,依次设置相机的曝光时间为 t_{jn} ,采集每幅图像,将采集到的每幅图像的每个像素点的灰度值标记为 $I''_{jn}(x, y)$;

步骤7:对所述的图像 $I_{jn}(x, y)$ 、灰度值 $I'_{jn}(x, y)$ 、灰度值 $I''_{jn}(x, y)$ 依次进行灰度归一化后得到灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 、灰度归一化灰度值 $J'_{jn}(x, y)$ 、灰度归一化灰度值 $J''_{jn}(x, y)$;

步骤8:按照公式(5)计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的灰度均值 $\mu(x, y)$;设置高斯方程分配像素权值的曝光门限值为 T_L ,且 $T_L \in [0, 1]$;设置高斯方程标准差为 σ ;按照公式(6)计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$;利用所述的计算灰度归一

化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算步骤7中所述的灰度归一化灰度值 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B'_{jn}(x, y)$ 、 $B''_{jn}(x, y)$;

$$\mu(x, y) = 0.5 + 0.3 * \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N J_{jn}(x, y) - 0.5 \right] \quad \text{公式 (5)}$$

$$B_{jn}(x, y) = \begin{cases} e^{-\frac{[J_{jn}(x, y) - \mu(x, y)]^2}{2\sigma^2}}, & T_L < J_{jn}(x, y) < 1 - T_L \\ 0, & 0 \leq J_{jn}(x, y) \leq T_L \text{ or } 1 - T_L \leq J_{jn}(x, y) \leq 1 \end{cases} \quad \text{公式 (6)}$$

步骤9:按照公式(7)计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节图像 $D_{jn}(x, y)$,并依次标记所述的 $D_{jn}(x, y)$ 的行数和列数分别为P和Q;按照公式(8)依次计算所述的细节图像 $D_{jn}(x, y)$ 中每个像素点到频率中心的距离 $D(x, y)$;设置滤波的截止频率为 D_0 ;按照公式(9)计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C_{jn}(x, y)$,利用所述的计算步骤7中灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算所述的灰度归一化灰度值 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C'_{jn}(x, y)$ 、 $C''_{jn}(x, y)$;

$$D_{jn}(x, y) = \nabla^2 J_{jn}(x, y) \quad \text{公式 (7)}$$

$$D(x, y) = \sqrt{\left(x - \frac{P}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{Q}{2}\right)^2} \quad \text{公式 (8)}$$

$$C_{jn}(x, y) = e^{-\frac{D^2(x, y)}{2D_0^2}} \quad \text{公式 (9)}$$

步骤10:综合所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$ 和细节因子 $C_{jn}(x, y)$,按照公式(10)计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W_{jn}(x, y)$,N为步骤2中所述的区间等分个数;按照所述的计算灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算所述灰度归一化灰度值 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W'_{jn}(x, y)$ 、 $W''_{jn}(x, y)$;

$$W_{jn}(x, y) = \frac{B_{jn}(x, y) \times C_{jn}(x, y)}{\sum_{n=1}^N B_{jn}(x, y) \times C_{jn}(x, y)} \quad \text{公式 (10)}$$

步骤11:当投射周期为步骤1中所述的 T_1 时,按照公式(11)依次计算第j步相移时的高动态范围图像 $E_j(x, y)$;按照所述的计算高动态范围图像 $E_j(x, y)$ 的方法分别计算投射周期为步骤1中所述 T_2 时的高动态范围图像 $E'_j(x, y)$ 以及投射周期为步骤1中所述 T_3 时的高动态范围图像 $E''_j(x, y)$;

$$E_j(x, y) = \sum_{n=1}^N I_{jn}(x, y) \times W_{jn}(x, y) \quad \text{公式 (11)}$$

高动态范围图像 $E_j(x, y)$ 、 $E'_j(x, y)$ 、 $E''_j(x, y)$ 中每一个点 (x, y) 的灰度值运算完毕。

一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法,更具体的说,本发明涉及一种能够从多个频率中获取反光物体精确三维信息的反光抑制方法。

背景技术

[0002] 光学三维测量方法已广泛应用于工业检测、逆向工程、人体扫描、文物保护、服装鞋帽等多个领域,对自由曲面的检测具有速度快、精度高的优势。按照成像照明方式的不同,光学三维测量技术可分为被动三维测量和主动三维测量两大类。在主动三维测量技术中,结构光三维测量技术发展最为迅速,尤其是相位测量轮廓术(Phase Measuring Profilometry, PMP),也被称为相移测量轮廓术(Phase Shifting Profilometry, PSP),是目前三维测量产品中常用的测量方法。相位测量方法是向被测物体上投射固定周期的按照三角函数(正弦或者余弦)规律变化的光亮度图像,此光亮度图像经过大于3步的均匀相移,最好为4-6步均匀相移,向物体投射4-6次光亮度图像,最终完成一个周期的相位移动。物体上面的每个点,经过相移图像的投射后,在图像中会分别获得几个不同的亮度值。此亮度值经过解相运算,才能获得唯一的相位值。由于目前采集到的图像的幅面较大,为了提高相位精度,需要向被测物体投射多个周期的相位图,因此,在一副图像中,相同相位值会出现多次。为了在图像中获得唯一的相位值,外差多频法是常用的解相方法。反光物体表面的反光会使相机饱和,图像出现过曝光,导致生成的点云存在孔洞和噪声。因而,测量时一般需要喷涂显影剂才能实现较好的测量效果,但喷涂显影剂增加了测量误差。为了解决反光物体的三维测量难题,本发明基于高动态范围图像的反光抑制原理,设计了一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法。

发明内容

[0003] 本发明设计了一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法,该方法能够应用于高精度三维测量中,弥补传统多频率三维测量无法有效抑制物体表面反光的缺陷。

[0004] 所述的反光抑制方法的硬件系统包括:

[0005] 用于投射多种频率光信号的光源投射装置,光源投射装置的分辨率为 $L_R \times L_C$;

[0006] 用于精度控制、图像采集和数据处理的计算机;

[0007] 用于采集图像的黑白相机,图像分辨率为 $C_R \times C_C$,黑白相机个数为2个;

[0008] 用于放置所述的光源和所述的摄像机的扫描平台;

[0009] 本发明设计了一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法,其特征是,包含步骤如下:

[0010] 步骤1:启动用于投射多种波长光信号的光源投射装置,所述的光源投射装置的分辨率为 $L_R \times L_C$;设置相移图像的相移步数为 M ,且 $M \in [4, 8]$;设置相移图像的投射周期 T_1 、 T_2 和 T_3 的值(T_1 、 T_2 和 T_3 的取值均处于 $0-L_R$ 之间),所述的 T_1 和所述的 T_2 的合成周期为 T_{12} ,所述的 T_2 和所述的 T_3 的合成周期为 T_{23} ,所述的 T_{12} 和所述的 T_{23} 的合成周期为 T_{123} ,所述的 T_{123} 大于或

等于 L_R ,按照公式(1)计算得到所述的 T_{12} 、 T_{23} 和 T_{123} ;

$$[0011] \quad T_{12} = \left| \frac{T_1 \times T_2}{T_1 - T_2} \right| \quad T_{23} = \left| \frac{T_2 \times T_3}{T_2 - T_3} \right| \quad T_{123} = \left| \frac{T_{12} \times T_{23}}{T_{12} - T_{23}} \right| \quad \text{公式 (1)}$$

[0012] 步骤2:在被测物体所在的场景下,进行有效曝光时间的测定, t_L 为相机的最小有效曝光时间, t_H 为相机的最大有效曝光时间,将 $[t_L, t_H]$ 映射到区间 $[0, 100]$ 中,将所述的区间 $[0, 100]$ 等分为 N ($N \geq 4$) 个区间,则第 n 个区间的左端点 a_n 可由公式(2)运算得到;

$$[0013] \quad a_n = \frac{(n-1) \times 100}{N} \quad (n = 1, 2 \dots, N) \quad \text{公式 (2)}$$

[0014] 步骤3:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_1 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ;设置搜索距离为 δ (δ 为整数,且 $\delta \in [5, 10]$),假设每步相移采集图像的幅数标记为 m ,所述的 m 为整数,且取值分别为 $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots, \frac{100}{\delta}$;按照公式(3)计算曝光时间变化量 Δt ;第 j 步相移时($j = 1, 2 \dots, M$),依次设置相机的曝光时间 t_j ,所述的 $t_j = t_L + m \Delta t$;假设采集到的每幅图像的每个像素点的灰度值标记为 $I_{jm}(x, y)$,每个灰度级出现的概率标记为 p_i ($i = 0, 1, 2 \dots, 255$),按照公式(4)计算每幅图像的信息熵 $H_{jm}(p_i)$;

$$[0015] \quad \Delta t = \frac{\delta \times (t_H - t_L)}{100} \quad \text{公式 (3)}$$

$$[0016] \quad H_{jm}(p_i) = \sum_{i=0}^{255} p_i * \log\left(\frac{1}{p_i}\right) \quad \text{公式 (4)}$$

[0017] 步骤4:利用步骤2中计算获得的 a_n ,依次设置搜索区间 $(a_n, a_{n+1}]$,得到每个区间上信息熵最大的图像 $I_{jn}(x, y)$ 及其对应曝光时间 t_{jn} ;

[0018] 步骤5:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_2 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ,第 j 步相移时,依次设置相机的曝光时间为 t_{jn} ,采集每幅图像,将采集到的每幅图像的每个像素点的灰度值标记为 $I'_{jn}(x, y)$;

[0019] 步骤6:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_3 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ,第 j 步相移时,依次设置相机的曝光时间为 t_{jn} ,采集每幅图像,将采集到的每幅图像的每个像素点的灰度值标记为 $I''_{jn}(x, y)$;

[0020] 步骤7:对所述的图像 $I_{jn}(x, y)$ 、 $I'_{jn}(x, y)$ 、 $I''_{jn}(x, y)$ 依次进行灰度归一化后得到灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 、 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$;

[0021] 步骤8:按照公式(5)计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的灰度均值 $\mu(x, y)$;设置高斯方程分配像素权值的曝光门限值为 T_L ,且 $T_L \in [0, 1]$;设置高斯方程标准差为 σ ;按照公式(6)计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$;利用所述的计算灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B'_{jn}(x, y)$ 、 $B''_{jn}(x, y)$;

$$[0022] \quad \mu(x, y) = 0.5 + 0.3 * \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N J_{jn}(x, y) - 0.5 \right] \quad \text{公式 (5)}$$

$$[0023] \quad B_{jn}(x, y) = \begin{cases} e^{-\frac{[J_{jn}(x, y) - \mu(x, y)]^2}{2\sigma^2}}, & T_L < J_{jn}(x, y) < 1 - T_L \\ 0, & 0 \leq J_{jn}(x, y) \leq T_L \text{ or } 1 - T_L \leq J_{jn}(x, y) \leq 1 \end{cases} \quad \text{公式 (6)}$$

[0024] 步骤9:按照公式(7)计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节图像 $D_{jn}(x, y)$,并依次标记所述的 $D_{jn}(x, y)$ 的行数和列数分别为P和Q;按照公式(8)依次计算所述的细节图像 $D_{jn}(x, y)$ 中每个像素点到频率中心的距离 $D(x, y)$;设置滤波的截止频率为 D_0 ;按照公式(9)计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C_{jn}(x, y)$,利用所述的计算步骤7中灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算所述的灰度归一化图像 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C''_{jn}(x, y)$ 、 $C'''_{jn}(x, y)$;

$$[0025] \quad D_{jn}(x, y) = \nabla^2 J_{jn}(x, y) \quad \text{公式 (7)}$$

$$[0026] \quad D(x, y) = \sqrt{\left(x - \frac{P}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{Q}{2}\right)^2} \quad \text{公式 (8)}$$

$$[0027] \quad C_{jn}(x, y) = e^{-\frac{D^2(x, y)}{2D_0^2}} \quad \text{公式 (9)}$$

[0028] 步骤10:综合所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$ 和细节因子 $C_{jn}(x, y)$,按照公式(10)计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W_{jn}(x, y)$,N为步骤2中所述的区间等分个数;按照所述的计算灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算所述灰度归一化图像 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W'_{jn}(x, y)$ 、 $W''_{jn}(x, y)$;

$$[0029] \quad W_{jn}(x, y) = \frac{B_{jn}(x, y) \times C_{jn}(x, y)}{\sum_{n=1}^N B_{jn}(x, y) \times C_{jn}(x, y)} \quad \text{公式 (10)}$$

[0030] 步骤11:当投射周期为步骤1中所述的 T_1 时,按照公式(11)依次计算第j步相移时的高动态范围图像 $E_j(x, y)$;按照所述的计算高动态范围图像 $E_j(x, y)$ 的方法分别计算投射周期为步骤1中所述 T_2 时的高动态范围图像 $E'_j(x, y)$ 以及投射周期为步骤1中所述 T_3 时的高动态范围图像 $E''_j(x, y)$;

$$[0031] \quad E_j(x, y) = \sum_{n=1}^N I_{jn}(x, y) \times W_{jn}(x, y) \quad \text{公式 (11)}$$

[0032] 高动态范围图像 $E_j(x, y)$ 、 $E'_j(x, y)$ 、 $E''_j(x, y)$ 中每一个点 (x, y) 的灰度值运算完毕。本发明专利所涉及的反光抑制方法流程图如图1所示。得到的高动态范围图像 $E_j(x, y)$ 、 $E'_j(x, y)$ 、 $E''_j(x, y)$ 可以直接应用于全局相位解相中。

[0033] 本发明的有益效果是:通过本发明所介绍的物体反光抑制方法,可以解决反光物体三维测量时的点云孔洞和点云混乱问题,无需喷涂显影剂,即可实现反光物体完整点云数据的高精度三维测量,避免了传统多频率三维测量方法中存在的缺陷。

附图说明

- [0034] 图1:反光抑制方法流程图;
 [0035] 图2:不同周期下光源投射相移图像;
 [0036] (a) 周期为 T_1 的光源投射六步相移图像, $T_1=16$;
 [0037] (b) 周期为 T_2 的光源投射六步相移图像, $T_2=18$;
 [0038] (c) 周期为 T_3 的光源投射六步相移图像, $T_3=21$;
 [0039] 图3:图像信息熵与图像融合的图像数的关系示意图;
 [0040] 图4:本发明所设计的反光抑制方法三维重建流程图。

具体实施方式

[0041] 多频率的方法是向被测物体投射至少两种周期的正弦或者余弦函数波,每种周期的函数均经过4-8步相移。通过两种周期的相位函数,可以叠加出一种周期更长的波形。

[0042] 在实际测量中,由于背景光的影响,实际采集到的光亮度 I_r 如公式(12)所示:

$$[0043] \quad I_r(x, y) = a + b \sin(\theta + \delta) \quad \text{公式(12)}$$

[0044] 其中, a 为背景光强, b 为投影光强, θ 为相位值, δ 为相移量。

[0045] 以六步相移为例,对于某一个像素点 p ,通过六次光投射,采集到的图像灰度值 I_{rp1} 、 I_{rp2} 、 I_{rp3} 、 I_{rp4} 如公式(13)所示。

$$\begin{aligned}
 I_{rp1} &= a + b \sin\left(\theta + \frac{\pi \times 0}{3}\right) = a + b \sin \theta \\
 I_{rp2} &= a + b \sin\left(\theta + \frac{\pi \times 1}{3}\right) = a + b \left(\frac{1}{2} \sin \theta + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta\right) \\
 I_{rp3} &= a + b \sin\left(\theta + \frac{\pi \times 2}{3}\right) = a + b \left(\frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta - \frac{1}{2} \sin \theta\right) \\
 I_{rp4} &= a + b \sin\left(\theta + \frac{\pi \times 3}{3}\right) = a - b \sin \theta \\
 I_{rp5} &= a + b \sin\left(\theta + \frac{\pi \times 4}{3}\right) = a - b \left(\frac{1}{2} \sin \theta + \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta\right) \\
 I_{rp6} &= a + b \sin\left(\theta + \frac{\pi \times 5}{3}\right) = a + b \left(\frac{1}{2} \sin \theta - \frac{\sqrt{3}}{2} \cos \theta\right)
 \end{aligned}
 \tag{13}$$

[0047] 选取相移图像的投射周期 $T_1=16$, $T_2=18$, $T_3=21$,相移图像的相移步数 $M=6$,投射的六步相移图像如图2所示。

[0048] 在被测物体所在的场景下对相机进行有效曝光时间的测定,信息熵小于1时的图像视为无效图像,经测定,实验场景下的最小有效曝光时间 t_L 为3ms,最大有效曝光时间 t_H 为63ms。将其映射到区间 $[0, 100]$ 中。如图3所示,在 $N > 4$ 时,图像的信息熵增速放缓,故选取 $N=4$ 。将区间 $[0, 100]$ 等分为 $(0, 25]$ 、 $(25, 50]$ 、 $(50, 75]$ 、 $(75, 100]$ 四个区间。取搜索距离 $\delta=5$,则每步相移应采集20幅图像。

[0049] 投射周期为16,相移步数为6的相移图像,依次在每步相移时设置相机的曝光时间为6ms、9ms、12ms、15ms、18ms、21ms、24ms、27ms、30ms、33ms、36ms、39ms、42ms、45ms、48ms、

51ms、54ms、57ms、60ms、63ms,采集每步相移不同曝光时间下的图像。计算每幅图像的信息熵,搜索各个区间中信息熵最大图像 $I_{jn}(x,y)$,并记录其曝光时间 t_{jn} 。相机曝光时间为18ms、27ms、39ms、54ms时得到对应图像 $I_{j1}(x,y)$ 、 $I_{j2}(x,y)$ 、 $I_{j3}(x,y)$ 、 $I_{j4}(x,y)$ 。

[0050] 投射周期为18,相移步数为6的相移图像,依次在每步相移时设置相机的曝光时间为18ms、27ms、39ms、54ms,采集相应图像 $I'_{jn}(x,y)$ 。

[0051] 投射周期为21,相移步数为6的相移图像,依次在每步相移时设置相机的曝光时间为18ms、27ms、39ms、54ms,采集相应图像 $I''_{jn}(x,y)$ 。

[0052] 将得到的图像 $I_{jn}(x,y)$ 、 $I'_{jn}(x,y)$ 、 $I''_{jn}(x,y)$ 经过灰度归一化后得到灰度归一化图像 $J_{jn}(x,y)$ 、 $J'_{jn}(x,y)$ 、 $J''_{jn}(x,y)$ 。分别计算其曝光亮度因子 $B_{jn}(x,y)$ 、 $B'_{jn}(x,y)$ 、 $B''_{jn}(x,y)$ 和细节因子 $C_{jn}(x,y)$ 、 $C'_{jn}(x,y)$ 、 $C''_{jn}(x,y)$ 。

[0053] 综合图像曝光亮度因子和细节因子,得到图像的融合权值图 $W_{jn}(x,y)$ 、 $W'_{jn}(x,y)$ 、 $W''_{jn}(x,y)$ 。通过公式(11)得到高动态范围图像 $E_j(x,y)$ 、 $E'_j(x,y)$ 、 $E''_j(x,y)$ 。

[0054] 将得到的高动态范围图像 $E_j(x,y)$ 、 $E'_j(x,y)$ 、 $E''_j(x,y)$ 应用于三频六步解相方法中,如图4所示为整个算法的重建过程。

[0055] 本发明设计了一种应用于多频率三维测量的反光抑制方法,其特征是,包含步骤如下:

[0056] 步骤1:启动用于投射多种波长光信号的光源投射装置,所述的光源投射装置的分辨率为 $L_R \times L_C$;设置相移图像的相移步数为 M ,且 $M \in [4, 8]$;设置相移图像的投射周期 T_1 、 T_2 和 T_3 的值(T_1 、 T_2 和 T_3 的取值均处于 $0-L_R$ 之间),所述的 T_1 和所述的 T_2 的合成周期为 T_{12} ,所述的 T_2 和所述的 T_3 的合成周期为 T_{23} ,所述的 T_{12} 和所述的 T_{23} 的合成周期为 T_{123} ,所述的 T_{123} 大于或等于 L_R ,按照下式计算得到所述的 T_{12} 、 T_{23} 和 T_{123} :

$$[0057] \quad T_{12} = \left| \frac{T_1 \times T_2}{T_1 - T_2} \right| \quad T_{23} = \left| \frac{T_2 \times T_3}{T_2 - T_3} \right| \quad T_{123} = \left| \frac{T_{12} \times T_{23}}{T_{12} - T_{23}} \right|$$

[0058] 步骤2:在被测物体所在的场景下,进行有效曝光时间的测定, t_L 为相机的最小有效曝光时间, t_H 为相机的最大有效曝光时间,将 $[t_L, t_H]$ 映射到区间 $[0, 100]$ 中,将所述的区间 $[0, 100]$ 等分为 N ($N \geq 4$)个区间,则第 n 个区间的左端点 a_n 可由下式运算得到:

$$[0059] \quad a_n = \frac{(n-1) \times 100}{N} \quad (n = 1, 2, \dots, N)$$

[0060] 步骤3:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_1 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ;设置搜索距离为 δ (δ 为整数,且 $\delta \in [5, 10]$),假设每步相移采集图像的幅数标记为 m ,所述的 m 为整数,且取值分别为

$m = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots, \frac{100}{\delta}$;按照下式计算曝光时间变化量 Δt ;第 j 步相移时($j = 1, 2, \dots,$

M),依次设置相机的曝光时间 t_j ,所述的 $t_j = t_L + m \Delta t$;假设采集到的每幅图像的每个像素点的灰度值标记为 $I_{jm}(x,y)$,每个灰度级出现的概率标记为 p_i ($i = 0, 1, 2, \dots, 255$),按照下式计算每幅图像的信息熵 $H_{jm}(p_i)$:

$$[0061] \quad \Delta t = \frac{\delta \times (t_H - t_L)}{100}$$

$$[0062] \quad H_{jm}(p_i) = \sum_{i=0}^{255} p_i * \log\left(\frac{1}{p_i}\right)$$

[0063] 步骤4:利用步骤2中计算获得的 a_n ,依次设置搜索区间 $(a_n, a_{n+1}]$,得到每个区间上信息熵最大的图像 $I_{jn}(x, y)$ 及其对应曝光时间 t_{jn} ;

[0064] 步骤5:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_2 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ,第 j 步相移时,依次设置相机的曝光时间为 t_{jn} ,采集每幅图像,将采集到的每幅图像每个像素点的灰度值标记为 $I'_{jn}(x, y)$;

[0065] 步骤6:利用所述的光源投射装置,向被测物体投射步骤1中所述的投射周期为 T_3 的相移图像,所述的相移图像的步数为步骤1中所设置的 M ,第 j 步相移时,依次设置相机的曝光时间为 t_{jn} ,采集每幅图像,将采集到的每幅图像每个像素点的灰度值标记为 $I''_{jn}(x, y)$;

[0066] 步骤7:对所述的图像 $I_{jn}(x, y)$ 、 $I'_{jn}(x, y)$ 、 $I''_{jn}(x, y)$ 依次进行灰度归一化后得到灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 、 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$;

[0067] 步骤8:按照下式计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的灰度均值 $\mu(x, y)$;设置高斯方程分配像素权值的曝光门限值为 T_L ,且 $T_L \in [0, 1]$;设置高斯方程标准差为 σ ;按照下式计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$;利用所述的计算灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B'_{jn}(x, y)$ 、 $B''_{jn}(x, y)$;

$$[0068] \quad \mu(x, y) = 0.5 + 0.3 * \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N J_{jn}(x, y) - 0.5 \right]$$

$$[0069] \quad B_{jn}(x, y) = \begin{cases} e^{-\frac{[J_{jn}(x, y) - \mu(x, y)]^2}{2\sigma^2}}, & T_L < J_{jn}(x, y) < 1 - T_L \\ 0, & 0 \leq J_{jn}(x, y) \leq T_L \text{ or } 1 - T_L \leq J_{jn}(x, y) \leq 1 \end{cases}$$

[0070] 步骤9:按照下式计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节图像 $D_{jn}(x, y)$,并依次标记所述的 $D_{jn}(x, y)$ 的行数和列数分别为 P 和 Q ;按照下式依次计算所述的细节图像 $D_{jn}(x, y)$ 中每个像素点到频率中心的距离 $D(x, y)$;设置滤波的截止频率为 D_0 ;按照下式计算步骤7中所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C_{jn}(x, y)$,利用所述的计算步骤7中灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C_{jn}(x, y)$ 的方法分别计算所述的灰度归一化图像 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的细节因子 $C'_{jn}(x, y)$ 、 $C''_{jn}(x, y)$;

$$[0071] \quad D_{jn}(x, y) = \nabla^2 J_{jn}(x, y)$$

$$[0072] \quad D(x, y) = \sqrt{\left(x - \frac{P}{2}\right)^2 + \left(y - \frac{Q}{2}\right)^2}$$

$$[0073] \quad C_{jn}(x, y) = e^{-\frac{D^2(x, y)}{2D_0^2}}$$

[0074] 步骤10:综合所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的曝光亮度因子 $B_{jn}(x, y)$ 和细节因子 $C_{jn}(x, y)$,按照下式计算所述的灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W_{jn}(x, y)$, N 为步骤2中所述的区间等分个数;按照所述的计算灰度归一化图像 $J_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W_{jn}(x, y)$

的方法分别计算所述灰度归一化图像 $J'_{jn}(x, y)$ 、 $J''_{jn}(x, y)$ 的融合权值图 $W'_{jn}(x, y)$ 、 $W''_{jn}(x, y)$;

$$[0075] \quad W_{jn}(x, y) = \frac{B_{jn}(x, y) \times C_{jn}(x, y)}{\sum_{n=1}^N B_{jn}(x, y) \times C_{jn}(x, y)}$$

[0076] 步骤11:当投射周期为步骤1中所述的 T_1 时,按照下式依次计算第j步相移时的高动态范围图像 $E_j(x, y)$;按照所述的计算高动态范围图像 $E_j(x, y)$ 的方法分别计算投射周期为步骤1中所述 T_2 时的高动态范围图像 $E'_j(x, y)$ 以及投射周期为步骤1中所述 T_3 时的高动态范围图像 $E''_j(x, y)$;

$$[0077] \quad E_j(x, y) = \sum_{n=1}^N I_{jn}(x, y) \times W_{jn}(x, y)$$

[0078] 高动态范围图像 $E_j(x, y)$ 、 $E'_j(x, y)$ 、 $E''_j(x, y)$ 中每一个点 (x, y) 的灰度值运算完毕。本发明所设计的反光抑制方法流程图如图1所示。

[0079] 本发明与现有的三频六步相移解相方法的最大区别是:三频六步相移方法无法很好地抑制反光物体造成地点云缺失和点云,需要喷涂显影剂才能避免该类问题发生。而本发明所设计的反光抑制方法,通过融合多幅不同曝光时间的图像,得到了高动态范围图像,该图像中不仅包含较多细节信息,而且也包含了整个物体完整的全局信息,从根本上解决了反光物体造成的数据缺失问题。因此本发明所设计的方法可以解决反光物体的三维测量的难题,无需喷涂显影剂,即可实现高精度的测量。

[0080] 综上所述,本发明所述反光抑制方法的优点是:

[0081] (1) 由于可以获得高动态范围图像,因此本发明所设计的反光抑制方法相比传统多频解相方法能够更精确地获取反光物体的三维数据;

[0082] (2) 由于仅仅通过调节曝光时间就可获得不同相移下的多曝光图像,因此,本发明所设计的反光抑制方法具有操作简单,适用范围广的优势;

[0083] (3) 解决了反光物体的测量难题,无需喷涂显影剂等着色材料,测量过程绿色环保,也节约了测量中耗材成本。

[0084] 以上示意性的对本发明及其实施方式进行了描述,该描述没有局限性,附图所示的也只是本发明的实施方式之一。所以,如果本领域的普通技术人员受其启示,在不脱离本发明创造宗旨的情况下,采用其它形式的同类部件或其它形式的各部件布局方式,不经创造性的设计出与该技术方案相似的技术方案与实施例,均应属于本发明的保护范围。

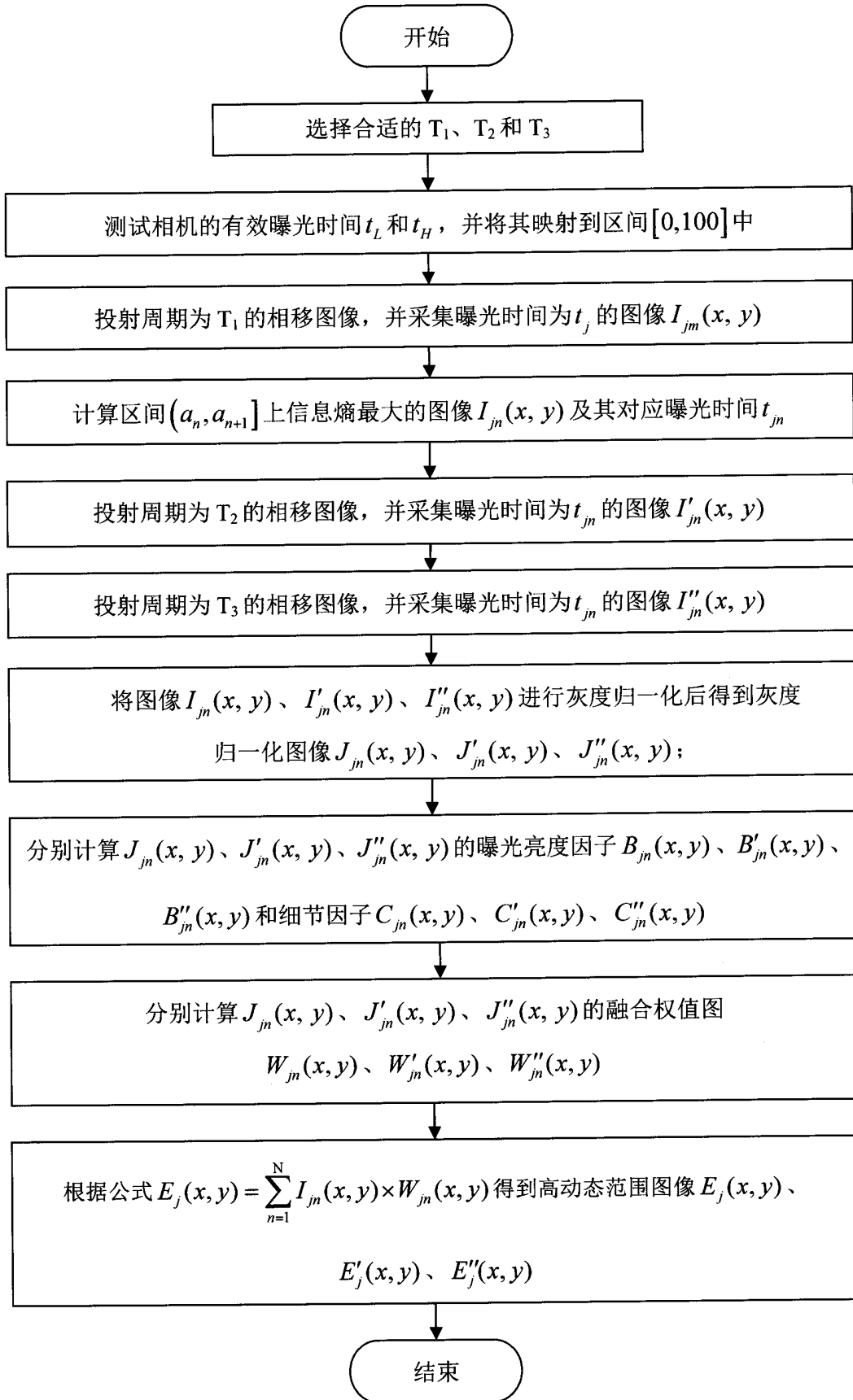


图1

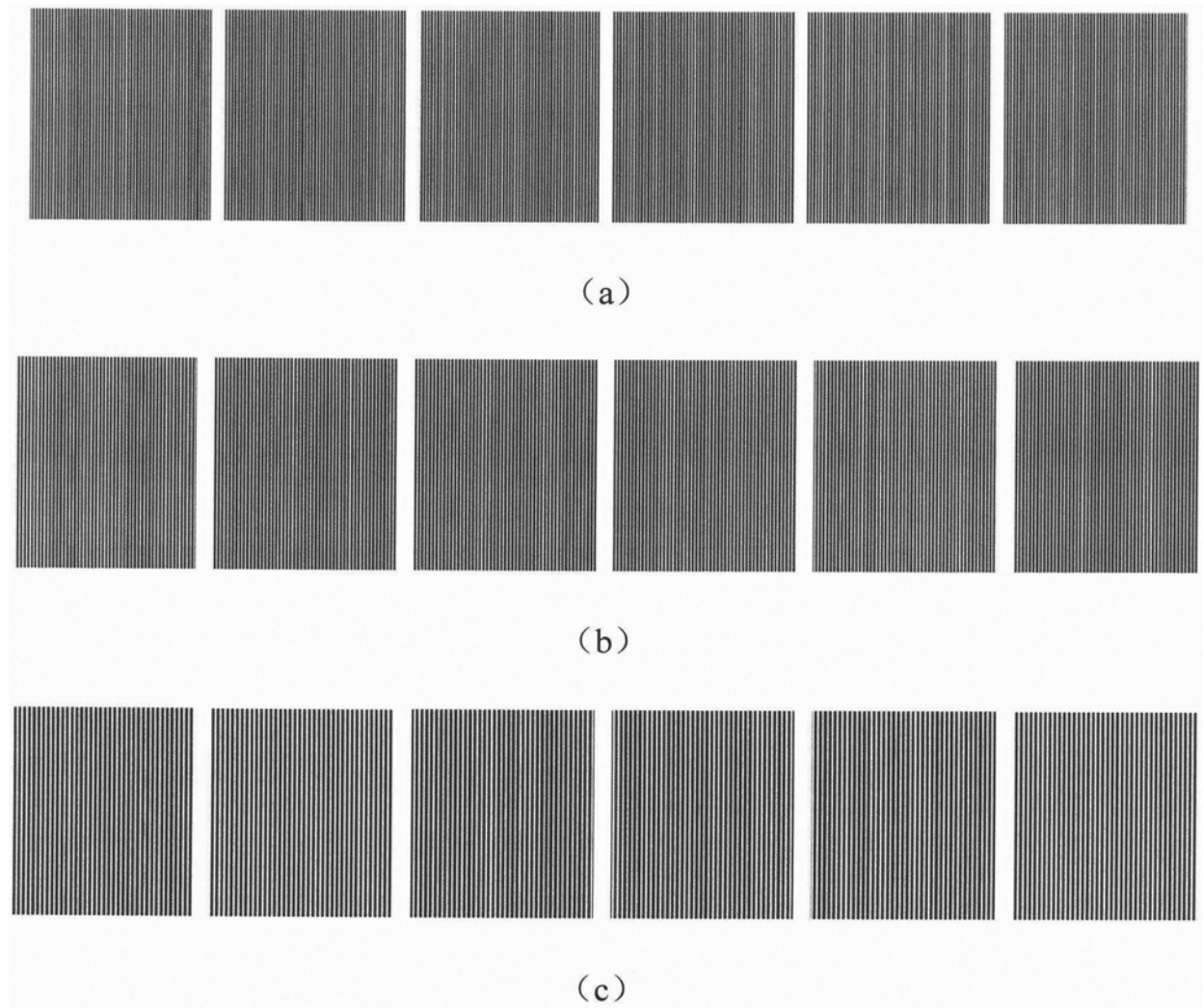


图2

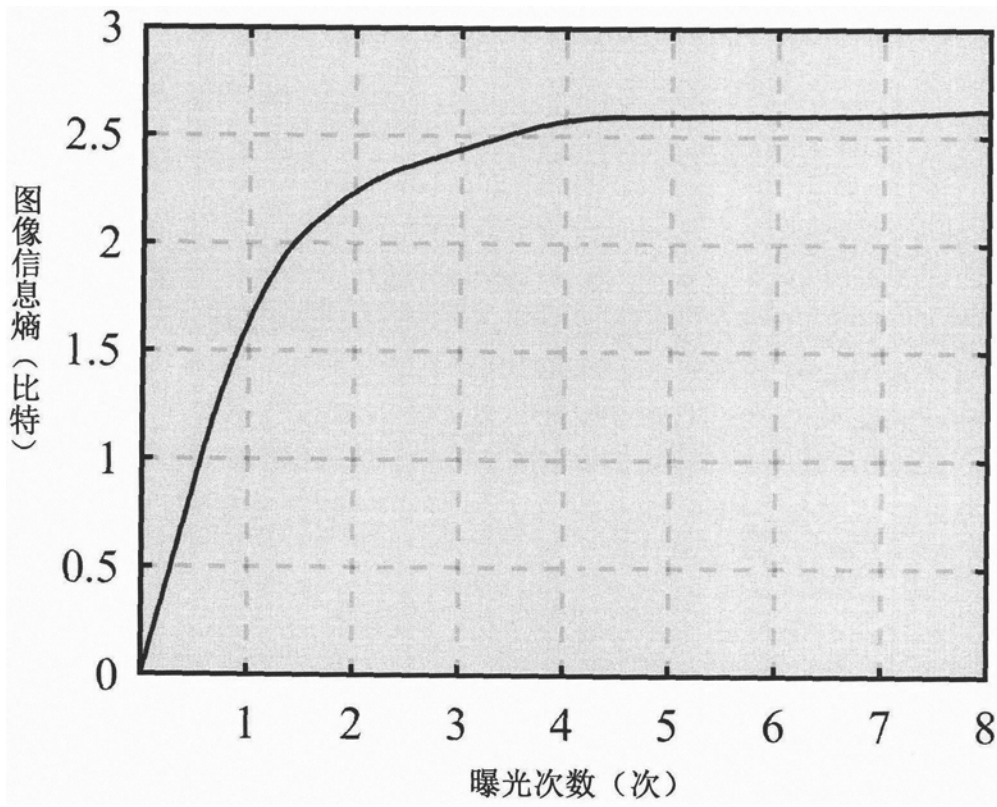


图3

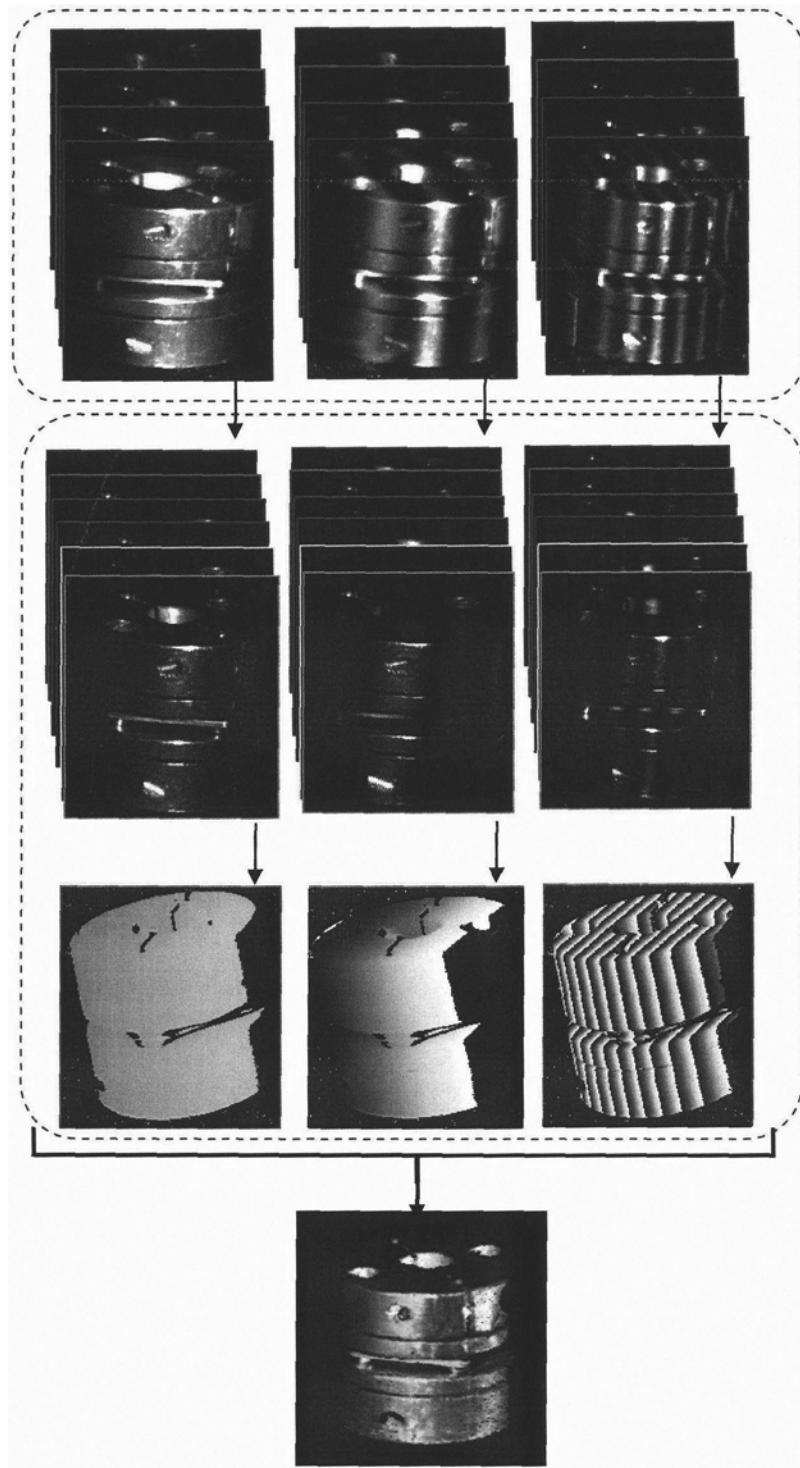


图4