



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 103413298 B

(45) 授权公告日 2016.02.24

(21) 申请号 201310304471.7

(22) 申请日 2013.07.17

(73) 专利权人 宁波大学

地址 315211 浙江省宁波市江北区风华路 818 号

(72) 发明人 邵枫 胡朝正 蒋刚毅 郁梅 李福翠 彭宗举

(74) 专利代理机构 宁波奥圣专利代理事务所 (普通合伙) 33226

代理人 周珏

(51) Int. Cl.

G06T 7/00(2006.01)

(56) 对比文件

US 2005/0254727 A1, 2005.11.17,

CN 102708567 A, 2012.10.03,

Ming-Jun Chen 等. Full-reference

Quality Assessment of Stereoscopic Images by Modeling Binocular Rivalry. 《Signals,

Systems and computers (ASILOMAR), 2012 Conference Record of the forty Sixth Asilomar Conference on》. 2012, 第 721-725 页.

Feng Shao 等. Perceptual Full-Reference Quality Assessment of Stereoscopic Images by Considering Binocular Visual Characteristics. 《Image Processing, IEEE Transactions on》. 2013, 第 22 卷 (第 5 期), 第 1940-1953 页.

审查员 闫伟姣

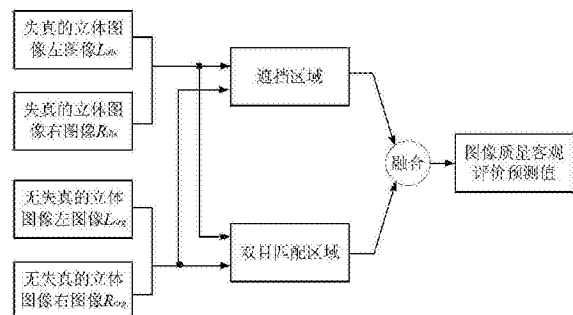
权利要求书7页 说明书16页 附图4页

(54) 发明名称

一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法,其首先通过计算立体图像的左右视点图像中的每个像素点在不同中心频率和方向因子下的频率响应,并通过区域检测方法将立体图像划分为遮挡区域和双目融合区域,然后利用单目视觉特性和双目视觉特性对这两个区域分别进行评价,并对各评价结果进行融合得到最终的图像质量客观评价预测值,优点在于获得的不同中心频率和方向因子下的频率响应能够较好地反映人类视觉系统的视觉感知特性,并采用单目视觉特性和双目视觉特性分别进行评价,能够有效地提高客观评价结果与主观感知的相关性。



1. 一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法,其特征在于包括以下步骤:

①令  $S_{org}$  为原始的无失真的立体图像,令  $S_{dis}$  为待评价的失真的立体图像,将  $S_{org}$  的左视点图像记为  $\{L_{org}(x, y)\}$ ,将  $S_{org}$  的右视点图像记为  $\{R_{org}(x, y)\}$ ,将  $S_{dis}$  的左视点图像记为  $\{L_{dis}(x, y)\}$ ,将  $S_{dis}$  的右视点图像记为  $\{R_{dis}(x, y)\}$ ,其中,  $(x, y)$  表示左视点图像和右视点图像中的像素点的坐标位置,  $1 \leq x \leq W$ ,  $1 \leq y \leq H$ ,  $W$  表示左视点图像和右视点图像的宽度,  $H$  表示左视点图像和右视点图像的高度,  $L_{org}(x, y)$  表示  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $R_{org}(x, y)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $L_{dis}(x, y)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $R_{dis}(x, y)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值;

②采用 Gabor 滤波器分别对  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 、 $\{R_{dis}(x, y)\}$  进行滤波处理,得到  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 、 $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的每个像素点在不同中心频率和不同方向因子下的频率响应,将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_L^{org}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_L^{org}(x, y; \omega, \theta) = e_L^{org}(x, y; \omega, \theta) + jo_L^{org}(x, y; \omega, \theta)$ ,将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_R^{org}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_R^{org}(x, y; \omega, \theta) = e_R^{org}(x, y; \omega, \theta) + jo_R^{org}(x, y; \omega, \theta)$ ,将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_L^{dis}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_L^{dis}(x, y; \omega, \theta) = e_L^{dis}(x, y; \omega, \theta) + jo_L^{dis}(x, y; \omega, \theta)$ ,将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_R^{dis}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_R^{dis}(x, y; \omega, \theta) = e_R^{dis}(x, y; \omega, \theta) + jo_R^{dis}(x, y; \omega, \theta)$ ,其中,  $\omega$  表示 Gabor 滤波器的中心频率,  $\omega \in \{1.74, 2.47, 3.49, 4.93, 6.98, 9.87\}$ ,  $\theta$  表示 Gabor 滤波器的方向因子,  $1 \leq \theta \leq 4$ ,  $e_L^{org}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{org}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_L^{org}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{org}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,  $e_R^{org}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{org}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_R^{org}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{org}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,  $e_L^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_L^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,  $e_R^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_R^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{dis}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,符号“j”为虚数表示符号;

③利用区域检测方法分别将  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  划分成遮挡区域和双目匹配区域,将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{L,org}^{nc}$  和  $\Omega_{L,org}^{bm}$ ,将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  和  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ ,将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{R,org}^{nc}$  和  $\Omega_{R,org}^{bm}$ ,将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  和  $\Omega_{R,dis}^{bm}$ ;

所述的步骤③的具体过程为:

③-1、采用块匹配法计算  $\{L_{org}(x, y)\}$  与  $\{R_{org}(x, y)\}$  之间的视差图像,记为  $\{d_{org}^L(x, y)\}$ ,

其中,  $d_{org}^L(x, y)$  表示  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值;

③ -2、根据  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中的每个像素点的像素值, 分别将  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  划分成遮挡区域和双目匹配区域, 具体过程为: ③ -2a、将  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中当前待处理的像素点定义为当前像素点; ③ -2b、假设当前像素点的坐标位置为  $(x_1, y_1)$ ,  $1 \leq x_1 \leq W$ ,  $1 \leq y_1 \leq H$ ; ③ -2c、判断当前像素点的像素值  $d_{org}^L(x_1, y_1)$  是否为 255, 如果是, 则将  $\{L_{org}(x, y)\}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1, y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 1, 否则, 将  $\{L_{org}(x, y)\}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1, y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 2, 同时将  $\{R_{org}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1 + d_{org}^L(x_1, y_1), y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 2; ③ -2d、将  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中下一个待处理的像素点作为当前像素点, 然后返回步骤③ -2b 继续执行, 直至  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中的所有像素点处理完毕, 将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{L,org}^{nc}$ , 将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{L,org}^{bm}$ , 将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{L,dis}^{nc}$ , 将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ , 将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{R,org}^{bm}$ , 将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中排除双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  后剩下的所有像素点的区域类型标记为 1, 将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{R,org}^{nc}$ , 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{R,dis}^{bm}$ , 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中排除双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  后剩下的所有像素点的区域类型标记为 1, 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ ;

④首先根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  的客观评价度量值; 然后根据  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  的客观评价度量值; 最后根据  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  的客观评价度量值和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  的客观评价度量值, 计算  $S_{dis}$  中的遮挡区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{nc}$ ;

⑤根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  及

$\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{bm}$ ;

⑥对  $S_{dis}$  中的遮挡区域的客观评价度量值  $Q_{nc}$  和  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的客观评价度量值  $Q_{bm}$  进行融合, 得到  $S_{dis}$  的图像质量客观评价预测值, 记为  $Q$ ,  $Q = w_{nc} \times Q_{nc} + w_{bm} \times Q_{bm}$ , 其中,  $w_{nc}$  和  $w_{bm}$  为加权参数,  $w_{nc} + w_{bm} = 1$ 。

2. 根据权利要求 1 所述的一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法, 其特征在于所述的步骤④的具体过程为:

④-1、根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$ , 则将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_L^{org}(x, y)$ ,

$$LP_L^{org}(x, y) = \sqrt{\left(F_L^{org}(x, y)\right)^2 + \left(H_L^{org}(x, y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_L^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta),$$

$H_L^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  表示选定的中心频率,  $e_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部;

同样, 根据  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$ , 则将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_L^{dis}(x, y)$ ,

$$LP_L^{dis}(x, y) = \sqrt{\left(F_L^{dis}(x, y)\right)^2 + \left(H_L^{dis}(x, y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_L^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta),$$

$H_L^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  表示选定的中心频率,  $e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部;

④-2、根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 计算  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  的客观评价度量值, 记为  $Q_L^{nc}$ ,

$$Q_L^{nc} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_L)}{2},$$

$$\psi_L = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{nc}} (GX_L^{org}(x,y) \cdot GX_L^{dis}(x,y) + GY_L^{org}(x,y) \cdot GY_L^{dis}(x,y)) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{nc}} (GX_L^{org}(x,y))^2 + (GY_L^{org}(x,y))^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{nc}} (GX_L^{dis}(x,y))^2 + (GY_L^{dis}(x,y))^2}} + T_1} \right),$$

其中,  $GX_L^{org}(x,y)$  为  $LP_L^{org}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_L^{org}(x,y)$  为  $LP_L^{org}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $GX_L^{dis}(x,y)$  为  $LP_L^{dis}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_L^{dis}(x,y)$  为  $LP_L^{dis}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数,  $\Omega_L^{nc}$  表示  $\Omega_{L,org}^{nc}$  或  $\Omega_{L,dis}^{nc}$ ;

④-3、根据  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{R_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点属于  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$ , 则将  $\{R_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点的振幅记为  $LP_R^{org}(x,y)$ ,

$$LP_R^{org}(x,y) = \sqrt{(F_R^{org}(x,y))^2 + (H_R^{org}(x,y))^2}, \text{ 其中, } F_R^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 e_R^{org}(x,y; \omega_m, \theta),$$

$H_R^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 o_R^{org}(x,y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  为选定的中心频率,  $e_R^{org}(x,y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x,y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_R^{org}(x,y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x,y; \omega_m, \theta)$  的虚部;

同样, 根据  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点属于  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ , 则将  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点的振幅记为  $LP_R^{dis}(x,y)$ ,

$$LP_R^{dis}(x,y) = \sqrt{(F_R^{dis}(x,y))^2 + (H_R^{dis}(x,y))^2}, \text{ 其中, } F_R^{dis}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 e_R^{dis}(x,y; \omega_m, \theta),$$

$H_R^{dis}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 o_R^{dis}(x,y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  为选定的中心频率,  $e_R^{dis}(x,y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x,y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_R^{dis}(x,y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x,y; \omega_m, \theta)$  的虚部;

④-4、根据  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  和  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 计算  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  的客观评价度量值, 记为  $Q_R^{nc}$ ,

$$Q_R^{nc} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_R)}{2},$$

$$\psi_R = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{nc}} (GX_R^{org}(x,y) \cdot GX_R^{dis}(x,y) + GY_R^{org}(x,y) \cdot GY_R^{dis}(x,y)) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{nc}} (GX_R^{org}(x,y))^2 + (GY_R^{org}(x,y))^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{nc}} (GX_R^{dis}(x,y))^2 + (GY_R^{dis}(x,y))^2} + T_1}} \right),$$

其中,  $GX_R^{org}(x,y)$  为  $LP_R^{org}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_R^{org}(x,y)$  为  $LP_R^{org}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $GX_R^{dis}(x,y)$  为  $LP_R^{dis}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_R^{dis}(x,y)$  为  $LP_R^{dis}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数,  $\Omega_R^{nc}$  表示  $\Omega_{R,org}^{nc}$  或  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ ;

④ -5、根据  $Q_L^{nc}$  和  $Q_R^{nc}$ , 计算  $S_{dis}$  中的遮挡区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{nc}$ ,

$$Q_{nc} = \frac{N_L^{nc} \cdot Q_L^{nc} + N_R^{nc} \cdot Q_R^{nc}}{N_L^{nc} + N_R^{nc}},$$

其中,  $N_L^{nc}$  表示  $\{L_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  中包含的像素点的个数,  $N_R^{nc}$  表示  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  中包含的像素点的个数。

3. 根据权利要求 2 所述的一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法, 其特征在于所述的步骤⑤的具体过程为:

⑤ -1、采用块匹配法计算  $\{L_{org}(x,y)\}$  与  $\{R_{org}(x,y)\}$  之间的视差图像, 记为  $\{d_{org}^L(x,y)\}$ ,

其中,  $d_{org}^L(x,y)$  表示  $\{d_{org}^L(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点的像素值;

⑤ -2、根据  $\{L_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{L_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅, 假设  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点属于  $\{L_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$ , 则将  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点和  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的匹配像素点的双目融合振幅记为  $LP_{LR}^{org}(x,y)$ ,  $LP_{LR}^{org}(x,y) = \sqrt{(F_{LR}^{org}(x,y))^2 + (H_{LR}^{org}(x,y))^2}$ , 其中,

$$F_{LR}^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta) + e_R^{org}(x',y';\omega_m,\theta),$$

$$H_{LR}^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta) + o_R^{org}(x',y';\omega_m,\theta),$$

$\omega_m$  为选定的中心频率, 此处  $(x',y')$

为  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的匹配像素点的坐标位置,  $x' = x + d_{org}^L(x,y)$ ,  $y' = y$ ,  $e_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  表示  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  的实部,  $e_R^{org}(x',y';\omega_m,\theta)$  表示  $\{R_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x',y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x',y';\omega_m,\theta)$  的实部,  $o_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  表示  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点

在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部,  $o_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x', y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$  的虚部;

⑤-3、根据  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅, 假设  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ , 则将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的匹配像素点的双目融合振幅记为  $LP_{LR}^{dis}(x, y)$ ,  $LP_{LR}^{dis}(x, y) = \sqrt{(F_{LR}^{dis}(x, y))^2 + (H_{LR}^{dis}(x, y))^2}$ , 其中,

$$F_{LR}^{dis}(x, y) = \sum_{\delta=-6}^6 \sum_{\theta=1}^4 e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta) + e_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta),$$

$$H_{LR}^{dis}(x, y) = \sum_{\delta=-6}^6 \sum_{\theta=1}^4 o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta) + o_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta),$$

$\omega_m$  为选定的中心频率,  $\delta$  表示视差偏移因子,  $-6 \leq \delta \leq 6$ , 此处  $(x', y')$  为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的匹配像素点的坐标位置,  $x' = x + d_{org}^L(x, y)$ ,  $y' = y$ ,  $e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $e_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x'+\delta, y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部,  $o_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x'+\delta, y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$  的虚部;

⑤-4、根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅, 计算  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{bm}$ ,  $Q_{bm} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_{LR})}{2}$ ,

$$\psi_{LR} = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,org}^{bm}} (GX_{LR}^{org}(x, y) \cdot GX_{LR}^{dis}(x, y) + GY_{LR}^{org}(x, y) \cdot GY_{LR}^{dis}(x, y)) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,org}^{bm}} (GX_{LR}^{org}(x, y))^2 + (GY_{LR}^{org}(x, y))^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,dis}^{bm}} (GX_{LR}^{dis}(x, y))^2 + (GY_{LR}^{dis}(x, y))^2} + T_1}} \right),$$

其中,  $GX_{LR}^{org}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{org}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_{LR}^{org}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{org}(x, y)$  中的垂直梯

度值,  $GX_{LR}^{dis}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{dis}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_{LR}^{dis}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{dis}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数,  $\Omega_L^{bm}$  表示  $\Omega_{L,org}^{bm}$  或  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ 。

4. 根据权利要求 3 所述的一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法, 其特征在于所述的步骤④-1、所述的步骤④-3、所述的步骤⑤-2 和所述的步骤⑤-3 中  $\omega_m$  的具体取值由  $S_{dis}$  的失真类型决定, 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 JPEG 压缩失真, 则取  $\omega_m = 3.49$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 JPEG2000 压缩失真, 则取  $\omega_m = 4.93$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为高斯模糊失真, 则取  $\omega_m = 4.93$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为白噪声失真, 则取  $\omega_m = 3.49$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 H.264 压缩失真, 则取  $\omega_m = 4.93$ 。

5. 根据权利要求 4 所述的一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法, 其特征在于所述的步骤④-2、所述的步骤④-4 和所述的步骤⑤-4 中取  $T_1 = 0.85$ 。

6. 根据权利要求 5 所述的一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法, 其特征在于所述的步骤⑥中取  $w_{nc} = 0.5$ ,  $w_{bm} = 0.5$ 。



## 一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种图像质量评价方法,尤其是涉及一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法。

### 背景技术

[0002] 随着图像编码技术和立体显示技术的迅速发展,立体图像技术受到了越来越广泛的关注与应用,已成为当前的一个研究热点。立体图像技术利用人眼的双目视差原理,双目各自独立地接收来自同一场景的左右视点图像,通过大脑融合形成双目视差,从而欣赏到具有深度感和逼真感的立体图像。由于立体图像受到采集系统、存储压缩及传输设备的影响,会不可避免地引入一系列的失真,而与单通道图像相比,立体图像需要同时保证两个通道的图像质量,因此对立体图像进行质量评价具有非常重要的意义。然而,目前缺乏有效的客观评价方法对立体图像质量进行评价。因此,建立有效的立体图像质量客观评价模型具有十分重要的意义。

[0003] 目前,通常是直接将平面图像质量评价方法直接应用于评价立体图像质量,然而,对立体图像的左右视点图像进行融合产生立体感的过程并不是简单的左右视点图像叠加的过程,还难以用简单的数学方法来表示,因此,如何从立体图像中提取出有效的特征信息来对双目立体融合进行模拟,如何根据人眼的双目视觉和单目视觉的响应特性对客观评价结果进行调制,使得客观评价结果更加感觉符合人类视觉系统,都是在对立体图像进行客观质量评价过程中需要研究解决的问题。

### 发明内容

[0004] 本发明所要解决的技术问题是提供一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法,其能够有效地提高客观评价结果与主观感知的相关性。

[0005] 本发明解决上述技术问题所采用的技术方案为:一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法,其特征在于包括以下步骤:

[0006] ①令  $S_{org}$  为原始的无失真的立体图像,令  $S_{dis}$  为待评价的失真的立体图像,将  $S_{org}$  的左视点图像记为  $\{L_{org}(x, y)\}$ ,将  $S_{org}$  的右视点图像记为  $\{R_{org}(x, y)\}$ ,将  $S_{dis}$  的左视点图像记为  $\{L_{dis}(x, y)\}$ ,将  $S_{dis}$  的右视点图像记为  $\{R_{dis}(x, y)\}$ ,其中,  $(x, y)$  表示左视点图像和右视点图像中的像素点的坐标位置,  $1 \leq x \leq W$ ,  $1 \leq y \leq H$ ,  $W$  表示左视点图像和右视点图像的宽度,  $H$  表示左视点图像和右视点图像的高度,  $L_{org}(x, y)$  表示  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $R_{org}(x, y)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $L_{dis}(x, y)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $R_{dis}(x, y)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值;

[0007] ②采用 Gabor 滤波器分别对  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 、 $\{R_{dis}(x, y)\}$  进行滤波处理,得到  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 、 $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的每个像素点在不同中心频率和不同方向因子下的频率响应,将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为

(x, y) 的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_L^{org}(x, y, \omega, \theta)$  ,  
 $G_L^{org}(x, y, \omega, \theta) = e_L^{org}(x, y, \omega, \theta) + jo_L^{org}(x, y, \omega, \theta)$  , 将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为 (x, y)  
 的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_R^{org}(x, y, \omega, \theta)$  ,  
 $G_R^{org}(x, y, \omega, \theta) = e_R^{org}(x, y, \omega, \theta) + jo_R^{org}(x, y, \omega, \theta)$  , 将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为 (x, y)  
 的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_L^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  ,  
 $G_L^{dis}(x, y, \omega, \theta) = e_L^{dis}(x, y, \omega, \theta) + jo_L^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  , 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为 (x, y)  
 的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_R^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  ,  
 $G_R^{dis}(x, y, \omega, \theta) = e_R^{dis}(x, y, \omega, \theta) + jo_R^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  , 其中,  $\omega$  表示 Gabor 滤波器的中心频率,  
 $\omega \in \{1.74, 2.47, 3.49, 4.93, 6.98, 9.87\}$  ,  $\theta$  表示 Gabor 滤波器的方向因子,  
 $1 \leq \theta \leq 4$  ,  $e_L^{org}(x, y, \omega, \theta)$  为  $G_L^{org}(x, y, \omega, \theta)$  的实部,  $o_L^{org}(x, y, \omega, \theta)$  为  $G_L^{org}(x, y, \omega, \theta)$  的  
 虚部,  $e_R^{org}(x, y, \omega, \theta)$  为  $G_R^{org}(x, y, \omega, \theta)$  的实部,  $o_R^{org}(x, y, \omega, \theta)$  为  $G_R^{org}(x, y, \omega, \theta)$  的虚部,  
 $e_L^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  为  $G_L^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  的实部,  $o_L^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  为  $G_L^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  的虚部,  $e_R^{dis}(x, y, \omega, \theta)$   
 为  $G_R^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  的实部,  $o_R^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  为  $G_R^{dis}(x, y, \omega, \theta)$  的虚部, 符号“j”为虚数表示符号;

[0008] ③利用区域检测方法分别将  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$   
 划分成遮挡区域和双目匹配区域, 将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  
 $\Omega_{L,org}^{nc}$  和  $\Omega_{L,org}^{bm}$  , 将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  和  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  , 将  
 $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{R,org}^{nc}$  和  $\Omega_{R,org}^{bm}$  , 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡  
 区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  和  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  ;

[0009] ④首先根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内  
 的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮  
 挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  的客观评价度量值; 然后根据  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$   
 中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获  
 取  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  的客观评价度量值; 最后根据  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  
 $\Omega_{L,dis}^{nc}$  的客观评价度量值和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  的客观评价度量值, 计算  $S_{dis}$  中  
 的遮挡区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{nc}$ ;

[0010] ⑤根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  
 $\Omega_{R,org}^{bm}$  及  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每  
 个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的  
 客观评价度量值, 记为  $Q_{bm}$ ;

[0011] ⑥对  $S_{dis}$  中的遮挡区域的客观评价度量值  $Q_{nc}$  和  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的客观评  
 价度量值  $Q_{bm}$  进行融合, 得到  $S_{dis}$  的图像质量客观评价预测值, 记为  $Q$ ,  $Q = w_{nc} \times Q_{nc} + w_{bm} \times Q_{bm}$ , 其  
 中,  $w_{nc}$  和  $w_{bm}$  为加权参数,  $w_{nc} + w_{bm} = 1$ 。

[0012] 所述的步骤③的具体过程为：

[0013] ③-1、采用块匹配法计算  $\{L_{org}(x, y)\}$  与  $\{R_{org}(x, y)\}$  之间的视差图像，记为  $\{d_{org}^L(x, y)\}$ ，其中， $d_{org}^L(x, y)$  表示  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值；

[0014] ③-2、根据  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中的每个像素点的像素值，分别将  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  划分成遮挡区域和双目匹配区域，具体过程为：③-2a、将  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中当前待处理的像素点定义为当前像素点；③-2b、假设当前像素点的坐标位置为  $(x_1, y_1)$ ， $1 \leq x_1 \leq W$ ， $1 \leq y_1 \leq H$ ；③-2c、判断当前像素点的像素值  $d_{org}^L(x_1, y_1)$  是否为 255，如果是，则将  $\{L_{org}(x, y)\}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1, y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 1，否则，将  $\{L_{org}(x, y)\}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1, y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 2，同时将  $\{R_{org}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1 + d_{org}^L(x_1, y_1), y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 2；③-2d、将  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中下一个待处理的像素点作为当前像素点，然后返回步骤③-2b 继续执行，直至  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中的所有像素点处理完毕，将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域，并记为  $\Omega_{L,org}^{nc}$ ，将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域，并记为  $\Omega_{L,org}^{bm}$ ，将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域，并记为  $\Omega_{L,dis}^{nc}$ ，将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域，并记为  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ ，将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域，并记为  $\Omega_{R,org}^{bm}$ ，将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中排除双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  后剩下的所有像素点的区域类型标记为 1，将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域，并记为  $\Omega_{R,org}^{nc}$ ，将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域，并记为  $\Omega_{R,dis}^{bm}$ ，将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中排除双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  后剩下的所有像素点的区域类型标记为 1，将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域，并记为  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ 。

[0015] 所述的步骤④的具体过程为：

[0016] ④-1、根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应，计算  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  内的每个像素点的振幅，假设  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$ ，则将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_L^{org}(x, y)$ ，

$$LP_L^{org}(x, y) = \sqrt{(F_L^{org}(x, y))^2 + (H_L^{org}(x, y))^2} \quad , \quad \text{其中, } F_L^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta) \quad ,$$

$H_L^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$ 表示选定的中心频率,  $e_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ 表示  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$ 和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ 表示  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$ 和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部;

[0017] 同样, 根据  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$ , 则将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_L^{dis}(x, y)$ ,

$$LP_L^{dis}(x, y) = \sqrt{\left(F_L^{dis}(x, y)\right)^2 + \left(H_L^{dis}(x, y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_L^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta),$$

$H_L^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$ 表示选定的中心频率,  $e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$ 表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$ 和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$ 表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$ 和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部;

[0018] ④-2、根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,org}^{nc}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 计算  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  的客观评价度量值, 记为  $Q_L^{nc}$ ,

$$Q_L^{nc} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_L)}{2}$$

[0019]

$$\psi_L = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{nc}} \left( GX_L^{org}(x, y) \cdot GX_L^{dis}(x, y) + GY_L^{org}(x, y) \cdot GY_L^{dis}(x, y) \right) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{org}} \left( GX_L^{org}(x, y) \right)^2 + \left( GY_L^{org}(x, y) \right)^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{dis}} \left( GX_L^{dis}(x, y) \right)^2 + \left( GY_L^{dis}(x, y) \right)^2} + T_1} \right),$$

其中,  $GX_L^{org}(x, y)$  为  $LP_L^{org}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_L^{org}(x, y)$  为  $LP_L^{org}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $GX_L^{dis}(x, y)$  为  $LP_L^{dis}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_L^{dis}(x, y)$  为  $LP_L^{dis}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数,  $\Omega_L^{nc}$  表示  $\Omega_{L,org}^{nc}$  或  $\Omega_{L,dis}^{nc}$ ;

[0020] ④-3、根据  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$ , 则将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_R^{org}(x, y)$ ,

$$LP_R^{org}(x, y) = \sqrt{\left(F_R^{org}(x, y)\right)^2 + \left(H_R^{org}(x, y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_R^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_R^{org}(x, y; \omega_m, \theta),$$

$H_R^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_R^{org}(x, y, \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  为选定的中心频率,  $e_R^{org}(x, y, \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x, y, \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_R^{org}(x, y, \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x, y, \omega_m, \theta)$  的虚部;

[0021] 同样, 根据  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ , 则将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_R^{dis}(x, y)$ ,

$$LP_R^{dis}(x, y) = \sqrt{\left(F_R^{dis}(x, y)\right)^2 + \left(H_R^{dis}(x, y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_R^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_R^{dis}(x, y, \omega_m, \theta),$$

$H_R^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_R^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  为选定的中心频率,  $e_R^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_R^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  的虚部;

[0022] ④-4、根据  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 计算  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  的客观评价度量值, 记为  $Q_R^{nc}$ ,

$$Q_R^{nc} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_R)}{2}$$

[0023]

$$\psi_R = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{nc}} \left( GX_R^{org}(x, y) \cdot GX_R^{dis}(x, y) + GY_R^{org}(x, y) \cdot GY_R^{dis}(x, y) \right) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{nc}} \left( GX_R^{org}(x, y) \right)^2 + \left( GY_R^{org}(x, y) \right)^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{nc}} \left( GX_R^{dis}(x, y) \right)^2 + \left( GY_R^{dis}(x, y) \right)^2} + T_1} \right),$$

其中,  $GX_R^{org}(x, y)$  为  $LP_R^{org}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_R^{org}(x, y)$  为  $LP_R^{org}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $GX_R^{dis}(x, y)$  为  $LP_R^{dis}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_R^{dis}(x, y)$  为  $LP_R^{dis}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数,  $\Omega_R^{nc}$  表示  $\Omega_{R,org}^{nc}$  或  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ ;

[0024] ④-5、根据  $Q_L^{nc}$  和  $Q_R^{nc}$ , 计算  $S_{dis}$  中的遮挡区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{nc}$ ,

$$Q_{nc} = \frac{N_L^{nc} \cdot Q_L^{nc} + N_R^{nc} \cdot Q_R^{nc}}{N_L^{nc} + N_R^{nc}}, \text{ 其中, } N_L^{nc} \text{ 表示 } \{L_{dis}(x, y)\} \text{ 中的遮挡区域 } \Omega_{L,dis}^{nc} \text{ 中包含的像素点的}$$

个数,  $N_R^{nc}$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  中包含的像素点的个数。

[0025] 所述的步骤⑤的具体过程为:

[0026] ⑤-1、采用块匹配法计算  $\{L_{org}(x, y)\}$  与  $\{R_{org}(x, y)\}$  之间的视差图像, 记为

$\{d_{org}^L(x, y)\}$ ，其中， $d_{org}^L(x, y)$ 表示 $\{d_{org}^L(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点的像素值；

[0027] ⑤-2、根据 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{L,org}^{bm}$ 和 $\{R_{org}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{R,org}^{bm}$ 内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应，计算 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{L,org}^{bm}$ 和 $\{R_{org}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{R,org}^{bm}$ 内的每对匹配像素点的双目融合振幅，假设 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点属于 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{L,org}^{bm}$ ，则将 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点和 $\{R_{org}(x, y)\}$ 中的匹配

像素点的双目融合振幅记为 $LP_{LR}^{org}(x, y)$ ， $LP_{LR}^{org}(x, y) = \sqrt{(F_{LR}^{org}(x, y))^2 + (H_{LR}^{org}(x, y))^2}$ ，其中，

$F_{LR}^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta) + e_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$ ， $H_{LR}^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta) + o_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$ ， $\omega_m$ 为选定的中心频率，此处 $(x', y')$ 为 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点在 $\{R_{org}(x, y)\}$ 中的匹配像素点的坐标位置， $x' = x + d_{org}^L(x, y)$ ， $y' = y$ ， $e_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ 表示 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点在中心频率为 $\omega_m$ 和方向因子为 $\theta$ 下的频率响应 $G_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ 的实部， $e_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$ 表示 $\{R_{org}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x', y')$ 的像素点在中心频率为 $\omega_m$ 和方向因子为 $\theta$ 下的频率响应 $G_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$ 的实部， $o_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ 表示 $\{L_{org}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点在中心频率为 $\omega_m$ 和方向因子为 $\theta$ 下的频率响应 $G_L^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ 的虚部， $o_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$ 表示 $\{R_{org}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x', y')$ 的像素点在中心频率为 $\omega_m$ 和方向因子为 $\theta$ 下的频率响应 $G_R^{org}(x', y'; \omega_m, \theta)$ 的虚部；

[0028] ⑤-3、根据 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{L,dis}^{bm}$ 和 $\{R_{dis}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{R,dis}^{bm}$ 内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应，计算 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{L,dis}^{bm}$ 和 $\{R_{dis}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{R,dis}^{bm}$ 内的每对匹配像素点的双目融合振幅，假设 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点属于 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 中的双目匹配区域 $\Omega_{L,dis}^{bm}$ ，则将 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点和 $\{R_{dis}(x, y)\}$ 中的匹配像素点的双目融合振幅记为 $LP_{LR}^{dis}(x, y)$ ，

$LP_{LR}^{dis}(x, y) = \sqrt{(F_{LR}^{dis}(x, y))^2 + (H_{LR}^{dis}(x, y))^2}$ ，其中， $F_{LR}^{dis}(x, y) = \sum_{\delta=-6}^6 \sum_{\theta=1}^4 e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta) + e_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$

， $H_{LR}^{dis}(x, y) = \sum_{\delta=-6}^6 \sum_{\theta=1}^4 o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta) + o_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$ ， $\omega_m$ 为选定的中心频率， $\delta$ 表示视差偏移因子， $-6 \leq \delta \leq 6$ ，此处 $(x', y')$ 为 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点在 $\{R_{dis}(x, y)\}$ 中的匹配像素点的坐标位置， $x' = x + d_{org}^L(x, y)$ ， $y' = y$ ， $e_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$ 表示 $\{L_{dis}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x, y)$ 的像素点在中心频率为 $\omega_m$ 和方向因子为 $\theta$ 下的频率响应 $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$ 的实部， $e_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$ 表示 $\{R_{dis}(x, y)\}$ 中坐标位置为 $(x'+\delta, y')$

的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部,  $o_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x'+\delta, y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x'+\delta, y'; \omega_m, \theta)$  的虚部;

[0029] ⑤-4、根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅, 计算  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{bm}$ ,  $Q_{bm} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_{LR})}{2}$ ,

$$\psi_{LR} = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,org}^{bm}} (GX_{LR}^{org}(x,y) \cdot GX_{LR}^{dis}(x,y) + GY_{LR}^{org}(x,y) \cdot GY_{LR}^{dis}(x,y)) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,org}^{bm}} (GX_{LR}^{org}(x,y))^2 + (GY_{LR}^{org}(x,y))^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,dis}^{bm}} (GX_{LR}^{dis}(x,y))^2 + (GY_{LR}^{dis}(x,y))^2} + T_1} \right),$$

其中,  $GX_{LR}^{org}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{org}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_{LR}^{org}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{org}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $GX_{LR}^{dis}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{dis}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_{LR}^{dis}(x, y)$  为  $LP_{LR}^{dis}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数,  $\Omega_L^{bm}$  表示  $\Omega_{L,org}^{bm}$  或  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ 。

[0030] 所述的步骤④-1、所述的步骤④-3、所述的步骤⑤-2 和所述的步骤⑤-3 中  $\omega_m$  的具体取值由  $S_{dis}$  的失真类型决定, 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 JPEG 压缩失真, 则取  $\omega_m = 3.49$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 JPEG2000 压缩失真, 则取  $\omega_m = 4.93$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为高斯模糊失真, 则取  $\omega_m = 4.93$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为白噪声失真, 则取  $\omega_m = 3.49$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 H.264 压缩失真, 则取  $\omega_m = 4.93$ 。

[0031] 所述的步骤④-2、所述的步骤④-4 和所述的步骤⑤-4 中取  $T_1 = 0.85$ 。

[0032] 所述的步骤⑥中取  $w_{nc} = 0.5$ ,  $w_{bm} = 0.5$ 。

[0033] 与现有技术相比, 本发明的优点在于:

[0034] 1) 本发明方法通过区域检测方法将无失真的立体图像的左视点图像和右视点图像及失真的立体图像的左视点图像和右视点图像分别划分为遮挡区域和双目匹配区域, 并利用单目视觉特性对失真的立体图像的遮挡区域进行评价, 利用双目视觉特性对失真的立体图像的双目匹配区域进行评价, 使得客观评价结果能更加符合人类视觉, 从而有效地提高了客观评价结果与主观感知的相关性。

[0035] 2) 本发明方法采用分别计算原始的无失真的立体图像在不同中心频率和方向因子下的频率响应及待评价的失真的立体图像在不同中心频率和方向因子下的频率响应, 来得到待评价的失真的立体图像中的双目匹配区域的客观评价度量值, 使得评价结果更加感觉符合人类视觉系统。

附图说明

- [0036] 图 1 为本发明方法的总体实现框图；
- [0037] 图 2a 为 Akko&Kayo 序列的原始立体图像的双目匹配区域的振幅图像；
- [0038] 图 2b 为 Akko&Kayo 序列的 JPEG 压缩失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0039] 图 2c 为 Akko&Kayo 序列的 JPEG2000 压缩失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0040] 图 2d 为 Akko&Kayo 序列的高斯模糊失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0041] 图 2e 为 Akko&Kayo 序列的白噪声失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0042] 图 2f 为 Akko&Kayo 序列的 H. 264 压缩失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0043] 图 3a 为 Door Flowers 序列的原始立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0044] 图 3b 为 Door Flowers 序列的 JPEG 压缩失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0045] 图 3c 为 Door Flowers 序列的 JPEG2000 压缩失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0046] 图 3d 为 Door Flowers 序列的高斯模糊失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0047] 图 3e 为 Door Flowers 序列的白噪声失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0048] 图 3f 为 Door Flowers 序列的 H. 264 压缩失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像；
- [0049] 图 4a 为 Akko&Kayo (640×480) 立体图像的左视点图像；
- [0050] 图 4b 为 Alt Moabit (1024×768) 立体图像的左视点图像；
- [0051] 图 4c 为 Balloons (1024×768) 立体图像的左视点图像；
- [0052] 图 4d 为 Door Flowers (1024×768) 立体图像的左视点图像；
- [0053] 图 4e 为 Kendo (1024×768) 立体图像的左视点图像；
- [0054] 图 4f 为 Leaving Laptop (1024×768) 立体图像的左视点图像；
- [0055] 图 4g 为 Lovebird1 (1024×768) 立体图像的左视点图像；
- [0056] 图 4h 为 Newspaper (1024×768) 立体图像的左视点图像；
- [0057] 图 4i 为 Xmas (640×480) 立体图像的左视点图像；
- [0058] 图 5 为每幅失真的立体图像的图像质量客观评价预测值与平均主观评分差值的散点图。

### 具体实施方式

- [0059] 以下结合附图实施例对本发明作进一步详细描述。
- [0060] 本发明提出的一种基于视觉特性的立体图像质量客观评价方法,其总体实现框图



如图 1 所示,其包括以下步骤:

[0061] ①令  $S_{\text{org}}$  为原始的无失真的立体图像,令  $S_{\text{dis}}$  为待评价的失真的立体图像,将  $S_{\text{org}}$  的左视点图像记为  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$ ,将  $S_{\text{org}}$  的右视点图像记为  $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$ ,将  $S_{\text{dis}}$  的左视点图像记为  $\{L_{\text{dis}}(x, y)\}$ ,将  $S_{\text{dis}}$  的右视点图像记为  $\{R_{\text{dis}}(x, y)\}$ ,其中,  $(x, y)$  表示左视点图像和右视点图像中的像素点的坐标位置,  $1 \leq x \leq W$ ,  $1 \leq y \leq H$ ,  $W$  表示左视点图像和右视点图像的宽度,  $H$  表示左视点图像和右视点图像的高度,  $L_{\text{org}}(x, y)$  表示  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $R_{\text{org}}(x, y)$  表示  $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $L_{\text{dis}}(x, y)$  表示  $\{L_{\text{dis}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值,  $R_{\text{dis}}(x, y)$  表示  $\{R_{\text{dis}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值。

[0062] ②采用 Gabor 滤波器分别对  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$ 、 $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$ 、 $\{L_{\text{dis}}(x, y)\}$ 、 $\{R_{\text{dis}}(x, y)\}$  进行滤波处理,得到  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$ 、 $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$ 、 $\{L_{\text{dis}}(x, y)\}$ 、 $\{R_{\text{dis}}(x, y)\}$  中的每个像素点在不同中心频率和不同方向因子下的频率响应,将  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta) = e_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta) + jo_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$ , 将  $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta) = e_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta) + jo_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$ , 将  $\{L_{\text{dis}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta) = e_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta) + jo_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$ , 将  $\{R_{\text{dis}}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应记为  $G_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$ ,  $G_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta) = e_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta) + jo_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$ , 其中,  $\omega$  表示 Gabor 滤波器的中心频率, Gabor 滤波器的中心频率  $\omega$  可以是任意一个值,在本发明中经验选取六个不同的值分别作为 Gabor 滤波器的中心频率,即  $\omega \in \{1.74, 2.47, 3.49, 4.93, 6.98, 9.87\}$ ,  $\theta$  表示 Gabor 滤波器的方向因子,  $1 \leq \theta \leq 4$ ,  $e_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,  $e_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{\text{org}}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,  $e_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_L^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,  $e_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  的实部,  $o_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  为  $G_R^{\text{dis}}(x, y; \omega, \theta)$  的虚部,符号“j”为虚数表示符号。

[0063] ③利用区域检测方法分别将  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$ 、 $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$ 、 $\{L_{\text{dis}}(x, y)\}$  和  $\{R_{\text{dis}}(x, y)\}$  划分成遮挡区域和双目匹配区域,将  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{L, \text{org}}^{\text{nc}}$  和  $\Omega_{L, \text{org}}^{\text{bm}}$ , 将  $\{L_{\text{dis}}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{L, \text{dis}}^{\text{nc}}$  和  $\Omega_{L, \text{dis}}^{\text{bm}}$ , 将  $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{R, \text{org}}^{\text{nc}}$  和  $\Omega_{R, \text{org}}^{\text{bm}}$ , 将  $\{R_{\text{dis}}(x, y)\}$  中的遮挡区域和双目匹配区域对应记为  $\Omega_{R, \text{dis}}^{\text{nc}}$  和  $\Omega_{R, \text{dis}}^{\text{bm}}$ 。

[0064] 在此具体实施例中,步骤③的具体过程为:

[0065] ③-1、采用块匹配法计算  $\{L_{\text{org}}(x, y)\}$  与  $\{R_{\text{org}}(x, y)\}$  之间的视差图像,记为

$\{d_{org}^L(x, y)\}$ , 其中,  $d_{org}^L(x, y)$  表示  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的像素值。在此, 块匹配法采用现有的经典的块匹配法, 其基本思想是将图像分成小块, 对左视点图像(右视点图像)中的每一小块, 在右视点图像(左视点图像)中寻找相关性最大的小块, 两个小块之间的空间位移量就是视差。

[0066] ③-2、根据  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中的每个像素点的像素值, 分别将  $\{L_{org}(x, y)\}$ 、 $\{R_{org}(x, y)\}$ 、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  划分成遮挡区域和双目匹配区域, 具体过程为:  
 ③-2a、将  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中当前待处理的像素点定义为当前像素点; ③-2b、假设当前像素点的坐标位置为  $(x_1, y_1)$ ,  $1 \leq x_1 \leq W$ ,  $1 \leq y_1 \leq H$ ; ③-2c、判断当前像素点的像素值  $d_{org}^L(x_1, y_1)$  是否为 255, 如果是, 则将  $\{L_{org}(x, y)\}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1, y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 1, 否则, 将  $\{L_{org}(x, y)\}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1, y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 2, 同时将  $\{R_{org}(x, y)\}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x_1 + d_{org}^L(x_1, y_1), y_1)$  的像素点的区域类型均标记为 2; ③-2d、将  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中下一个待处理的像素点作为当前像素点, 然后返回步骤 ③-2b 继续执行, 直至  $\{d_{org}^L(x, y)\}$  中的所有像素点处理完毕, 将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{L, org}^{nc}$ , 将  $\{L_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{L, org}^{bm}$ , 将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{L, dis}^{nc}$ , 将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{L, dis}^{bm}$ , 将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{R, org}^{bm}$ , 将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中排除双目匹配区域  $\Omega_{R, org}^{bm}$  后剩下的所有像素点的区域类型标记为 1, 将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{R, org}^{nc}$ , 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 2 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域, 并记为  $\Omega_{R, dis}^{bm}$ , 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中排除双目匹配区域  $\Omega_{R, dis}^{bm}$  后剩下的所有像素点的区域类型标记为 1, 将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中区域类型标记为 1 的所有像素点构成的区域作为  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域, 并记为  $\Omega_{R, dis}^{nc}$ 。

[0067] ④由于立体图像中左右视点图像的遮挡区域在立体感知过程中只能形成单目视觉, 因此本发明方法首先根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L, org}^{nc}$  和  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L, dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L, dis}^{nc}$  的客观评价度量值; 然后根据  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R, org}^{nc}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R, dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R, dis}^{nc}$  的客观评价度量值; 最后根据  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的

遮挡区域 $\Omega_{L,dis}^{nc}$ 的客观评价度量值和 $\{R_{dis}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{R,dis}^{nc}$ 的客观评价度量值,计算 $S_{dis}$ 中的遮挡区域的客观评价度量值,记为 $Q_{nc}$ 。

[0068] 在此具体实施例中,步骤④的具体过程为:

[0069] ④-1、根据 $\{L_{org}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,org}^{nc}$ 内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应,计算 $\{L_{org}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,org}^{nc}$ 内的每个像素点的振幅,假设 $\{L_{org}(x,y)\}$ 中坐标位置为 $(x,y)$ 的像素点属于 $\{L_{org}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,org}^{nc}$ ,则将 $\{L_{org}(x,y)\}$ 中坐标位置为 $(x,y)$ 的像素点的振幅记为 $LP_L^{org}(x,y)$ ,

$$LP_L^{org}(x,y) = \sqrt{\left(F_L^{org}(x,y)\right)^2 + \left(H_L^{org}(x,y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_L^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta),$$

$$H_L^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta), \text{ } \omega_m \text{ 表示选定的中心频率,即 } \omega_m \text{ 的值为 } 1.74, 2.47, 3.49,$$

4.93, 6.98, 9.87 中的第  $m$  个值,  $1 \leq m \leq 6$ ,  $e_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  表示

$\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  的实部,  $o_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  表示  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  的虚部。

[0070] 同样,根据 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,dis}^{nc}$ 内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应,计算 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,dis}^{nc}$ 内的每个像素点的振幅,假设 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中坐标位置为 $(x,y)$ 的像素点属于 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,dis}^{nc}$ ,则将 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中坐标位置为 $(x,y)$ 的像素点的振幅记为 $LP_L^{dis}(x,y)$ ,

$$LP_L^{dis}(x,y) = \sqrt{\left(F_L^{dis}(x,y)\right)^2 + \left(H_L^{dis}(x,y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_L^{dis}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{dis}(x,y;\omega_m,\theta),$$

$$H_L^{dis}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{dis}(x,y;\omega_m,\theta), \text{ } \omega_m \text{ 表示选定的中心频率, } e_L^{dis}(x,y;\omega_m,\theta) \text{ 表示 } \{L_{dis}(x,y)\}$$

中坐标位置为 $(x,y)$ 的像素点在中心频率为 $\omega_m$ 和方向因子为 $\theta$ 下的频率响应 $G_L^{dis}(x,y;\omega_m,\theta)$ 的实部, $o_L^{dis}(x,y;\omega_m,\theta)$ 表示 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中坐标位置为 $(x,y)$ 的像素点在中心频率为 $\omega_m$ 和方向因子为 $\theta$ 下的频率响应 $G_L^{dis}(x,y;\omega_m,\theta)$ 的虚部。

[0071] ④-2、根据 $\{L_{org}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,org}^{nc}$ 和 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,dis}^{nc}$ 内的每个像素点的振幅,计算 $\{L_{dis}(x,y)\}$ 中的遮挡区域 $\Omega_{L,dis}^{nc}$ 的客观评价度量值,记为 $Q_L^{nc}$ ,

$$Q_L^{nc} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_L)}{2}$$

[0072]

$$\psi_L = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,org}^{nc}} (GX_L^{org}(x,y) \cdot GX_L^{dis}(x,y) + GY_L^{org}(x,y) \cdot GY_L^{dis}(x,y)) + I_L}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,org}^{nc}} (GX_L^{org}(x,y))^2 + (GY_L^{org}(x,y))^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_{L,dis}^{nc}} (GX_L^{dis}(x,y))^2 + (GY_L^{dis}(x,y))^2} + I_L}} \right),$$

其中,  $GX_L^{org}(x, y)$  为  $LP_L^{org}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_L^{org}(x, y)$  为  $LP_L^{org}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $GX_L^{dis}(x, y)$  为  $LP_L^{dis}(x, y)$  中的水平梯度值,  $GY_L^{dis}(x, y)$  为  $LP_L^{dis}(x, y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数, 在本实施例中取  $T_1=0.85$ ,  $\Omega_L^{nc}$  表示  $\Omega_{L,org}^{nc}$  或  $\Omega_{L,dis}^{nc}$ 。

[0073] ④-3、根据  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$ , 则将  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_R^{org}(x, y)$ ,

$$LP_R^{org}(x, y) = \sqrt{\left(F_R^{org}(x, y)\right)^2 + \left(H_R^{org}(x, y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_R^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_R^{org}(x, y; \omega_m, \theta),$$

$H_R^{org}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_R^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  为选定的中心频率,  $e_R^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_R^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部。

[0074] 同样, 根据  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 假设  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ , 则将  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点的振幅记为  $LP_R^{dis}(x, y)$ ,

$$LP_R^{dis}(x, y) = \sqrt{\left(F_R^{dis}(x, y)\right)^2 + \left(H_R^{dis}(x, y)\right)^2}, \text{ 其中, } F_R^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 e_R^{dis}(x, y; \omega_m, \theta),$$

$H_R^{dis}(x, y) = \sum_{\theta=1}^4 o_R^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  为选定的中心频率,  $e_R^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_R^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x, y; \omega_m, \theta)$  的虚部。

[0075] ④-4、根据  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,org}^{nc}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  内的每个像素点的振幅, 计算  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  的客观评价度量值, 记为  $Q_R^{nc}$ ,

$$Q_R^{nc} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_R)}{2}$$

$$\psi_R = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{org}} (GX_R^{org}(x,y) \cdot GX_R^{dis}(x,y) + GY_R^{org}(x,y) \cdot GY_R^{dis}(x,y)) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{org}} (GX_R^{org}(x,y))^2 + (GY_R^{org}(x,y))^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_R^{dis}} (GX_R^{dis}(x,y))^2 + (GY_R^{dis}(x,y))^2} + T_1}} \right),$$

其中,  $GX_R^{org}(x,y)$  为  $LP_R^{org}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_R^{org}(x,y)$  为  $LP_R^{org}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $GX_R^{dis}(x,y)$  为  $LP_R^{dis}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_R^{dis}(x,y)$  为  $LP_R^{dis}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数, 在本实施例中取  $T_1=0.85$ ,  $\Omega_R^{nc}$  表示  $\Omega_{R,org}^{nc}$  或  $\Omega_{R,dis}^{nc}$ 。

[0076] ④-5、根据  $Q_L^{nc}$  和  $Q_R^{nc}$ , 计算  $S_{dis}$  中的遮挡区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{nc}$ ,

$$Q_{nc} = \frac{N_L^{nc} \cdot Q_L^{nc} + N_R^{nc} \cdot Q_R^{nc}}{N_L^{nc} + N_R^{nc}},$$

其中,  $N_L^{nc}$  表示  $\{L_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{L,dis}^{nc}$  中包含的像素点的

个数,  $N_R^{nc}$  表示  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的遮挡区域  $\Omega_{R,dis}^{nc}$  中包含的像素点的个数。

[0077] ⑤人类视觉特性表明, 双目视觉神经元细胞处理视觉信息的机制, 就是根据双目视差信息对左右眼接收到的信息在不同频率和方向进行融合的过程, 因此本发明方法根据  $\{L_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  及  $\{L_{dis}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 获取  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的客观评价度量值, 记为  $Q_{bm}$ 。

[0078] 在此具体实施例中, 步骤⑤的具体过程为:

[0079] ⑤-1、采用块匹配法计算  $\{L_{org}(x,y)\}$  与  $\{R_{org}(x,y)\}$  之间的视差图像, 记为  $\{d_{org}^L(x,y)\}$ , 其中,  $d_{org}^L(x,y)$  表示  $\{d_{org}^L(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点的像素值。

[0080] ⑤-2、根据  $\{L_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{L_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅, 假设  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点属于  $\{L_{org}(x,y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$ , 则将  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点和  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的匹配

像素点的双目融合振幅记为  $LP_{LR}^{org}(x,y)$ ,  $LP_{LR}^{org}(x,y) = \sqrt{(F_{LR}^{org}(x,y))^2 + (H_{LR}^{org}(x,y))^2}$ , 其中,

$$F_{LR}^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 e_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta) + e_R^{org}(x',y';\omega_m,\theta) H_{LR}^{org}(x,y) = \sum_{\theta=1}^4 o_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta) + o_R^{org}(x',y';\omega_m,\theta),$$

$\omega_m$  为选定的中心频率, 此处  $(x',y')$  为  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在  $\{R_{org}(x,y)\}$  中的匹配像素点的坐标位置,  $x' = x + d_{org}^L(x,y)$ ,  $y' = y$ ,  $e_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$  表示  $\{L_{org}(x,y)\}$  中坐标位置为  $(x,y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x,y;\omega_m,\theta)$

的实部,  $e_R^{org}(x', y', \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x', y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x', y', \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{org}(x, y, \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{org}(x, y, \omega_m, \theta)$  的虚部,  $o_R^{org}(x', y', \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{org}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x', y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{org}(x', y', \omega_m, \theta)$  的虚部。

[0081] ⑤ -3、根据  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每个像素点在选定的中心频率和不同方向因子下的频率响应, 计算  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅, 假设  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点属于  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ , 则将  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的匹配像素点的双目融合振幅记为  $LP_{LR}^{dis}(x, y)$ ,  $LP_{LR}^{dis}(x, y) = \sqrt{(F_{LR}^{dis}(x, y))^2 + (H_{LR}^{dis}(x, y))^2}$ , 其中,

$$F_{LR}^{dis}(x, y) = \sum_{\delta=-6}^6 \sum_{\theta=1}^4 e_L^{dis}(x, y, \omega_m, \theta) + e_R^{dis}(x'+\delta, y', \omega_m, \theta),$$

$H_{LR}^{dis}(x, y) = \sum_{\delta=-6}^6 \sum_{\theta=1}^4 o_L^{dis}(x, y, \omega_m, \theta) + o_R^{dis}(x'+\delta, y', \omega_m, \theta)$ ,  $\omega_m$  为选定的中心频率,  $\delta$  表示视差偏移因子,  $-6 \leq \delta \leq 6$ , 此处  $(x', y')$  为  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的匹配像素点的坐标位置,  $x' = x + d_{org}^L(x, y)$ ,  $y' = y$ ,  $e_L^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  的实部,  $e_R^{dis}(x'+\delta, y', \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x'+\delta, y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x'+\delta, y', \omega_m, \theta)$  的实部,  $o_L^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  表示  $\{L_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x, y)$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_L^{dis}(x, y, \omega_m, \theta)$  的虚部,  $o_R^{dis}(x'+\delta, y', \omega_m, \theta)$  表示  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中坐标位置为  $(x'+\delta, y')$  的像素点在中心频率为  $\omega_m$  和方向因子为  $\theta$  下的频率响应  $G_R^{dis}(x'+\delta, y', \omega_m, \theta)$  的虚部。

[0082] 在此, 考虑到失真会严重影响左右视点图像的匹配, 并进而影响双目匹配区域的频率响应, 因此, 本发明方法在计算失真图像的双目匹配区域的振幅时, 在原始视差  $d_{org}^L(x, y)$  的基础上添加上一个较小的视差偏移因子  $\delta$ , 以更好地反映双目视觉响应。

[0083] ⑤ -4、根据  $\{L_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,org}^{bm}$  和  $\{R_{org}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,org}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅、 $\{L_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{L,dis}^{bm}$  和  $\{R_{dis}(x, y)\}$  中的双目匹配区域  $\Omega_{R,dis}^{bm}$  内的每对匹配像素点的双目融合振幅, 计算  $S_{dis}$  中的双

目匹配区域的客观评价度量值,记为  $Q_{bm}$ ,  $Q_{bm} = \frac{1 + \cos(2 \cdot \psi_{LR})}{2}$ ,

$$\psi_{LR} = \arccos \left( \frac{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{bm}} (GX_{LR}^{org}(x,y) \cdot GX_{LR}^{dis}(x,y) + GY_{LR}^{org}(x,y) \cdot GY_{LR}^{dis}(x,y)) + T_1}{\sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{org}} (GX_{LR}^{org}(x,y))^2 + (GY_{LR}^{org}(x,y))^2} \cdot \sqrt{\sum_{(x,y) \in \Omega_L^{dis}} (GX_{LR}^{dis}(x,y))^2 + (GY_{LR}^{dis}(x,y))^2} + T_1}} \right),$$

其中,  $GX_{LR}^{org}(x,y)$  为  $LP_{LR}^{org}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_{LR}^{org}(x,y)$  为  $LP_{LR}^{org}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $GX_{LR}^{dis}(x,y)$  为  $LP_{LR}^{dis}(x,y)$  中的水平梯度值,  $GY_{LR}^{dis}(x,y)$  为  $LP_{LR}^{dis}(x,y)$  中的垂直梯度值,  $\arccos()$  为取反余弦函数,  $T_1$  为控制参数, 在本实施例中取  $T_1=0.85$ ,  $\Omega_L^{bm}$  表示  $\Omega_{L,org}^{bm}$  或  $\Omega_{L,dis}^{bm}$ 。

[0084] 在此,图 2a、图 2b、图 2c、图 2d、图 2e 和图 2f 分别给出了“Akko&Kayo”序列的原始立体图像、JPEG 压缩失真的立体图像、JPEG2000 压缩失真的立体图像、高斯模糊失真的立体图像、白噪声失真的立体图像、H. 264 压缩失真的立体图像中的双目匹配区域的双目融合振幅图像,图 3a、图 3b、图 3c、图 3d、图 3e 和图 3f 分别给出了“Door Flowers”序列的原始立体图像、JPEG 压缩失真的立体图像、JPEG2000 压缩失真的立体图像、高斯模糊失真的立体图像、白噪声失真的立体图像、H. 264 压缩失真的立体图像的双目匹配区域的双目融合振幅图像,从图 2a 至图 3f 中可以看出,采用本发明方法提取的振幅信息,能够很好地反映人类视觉对不同频率、不同失真的立体图像的响应过程。

[0085] ⑥对  $S_{dis}$  中的遮挡区域的客观评价度量值  $Q_{nc}$  和  $S_{dis}$  中的双目匹配区域的客观评价度量值  $Q_{bm}$  进行融合,得到  $S_{dis}$  的图像质量客观评价预测值,记为  $Q$ ,  $Q = w_{nc} \times Q_{nc} + w_{bm} \times Q_{bm}$ , 其中,  $w_{nc}$  和  $w_{bm}$  为加权参数,  $w_{nc} + w_{bm} = 1$ , 在本实施例中取  $w_{nc} = 0.5$ ,  $w_{bm} = 0.5$ 。

[0086] ⑦采用  $n$  幅原始的无失真的立体图像,建立其在不同失真类型不同失真程度下的失真立体图像集合,该失真立体图像集合包括多幅失真的立体图像,利用主观质量评价方法分别获取该失真立体图像集合中每幅失真的立体图像的平均主观评分差值,记为  $DMOS$ ,  $DMOS = 100 - MOS$ , 其中,  $MOS$  表示主观评分均值,  $DMOS \in [0, 100]$ ,  $n \geq 1$ ; 然后按照步骤①至步骤⑥计算  $S_{dis}$  的图像质量客观评价预测值  $Q$  的操作,以相同的方式分别计算该失真立体图像集合中每幅失真的立体图像的图像质量客观评价预测值。

[0087] 在本实施例中,由于根据人眼对不同失真类型的频率响应不一致的特性,因此针对不同失真类型的立体图像,对 Gabor 滤波器设置不同的中心频率,即上述步骤④-1、步骤④-3、步骤⑤-2 和步骤⑤-3 中  $\omega_m$  的具体取值由  $S_{dis}$  的失真类型决定,如果  $S_{dis}$  的失真类型为 JPEG 压缩失真,则取  $\omega_m = 3.49$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 JPEG2000 压缩失真,则取  $\omega_m = 4.93$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为高斯模糊失真,则取  $\omega_m = 4.93$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为白噪声失真,则取  $\omega_m = 3.49$ ; 如果  $S_{dis}$  的失真类型为 H. 264 压缩失真,则取  $\omega_m = 4.93$ 。在此,针对不同失真类型的失真图像,计算分别取六个中心频率情况下的评价结果,选取评价结果最好的中心频率作为选定的中心频率,通过大量实验确定上述  $\omega_m$  的具体取值。

[0088] 为进一步说明本发明方法的可行性和有效性,对本发明方法的性能进行客观评价。

[0089] 在本实施例中,利用 9 幅无失真的立体图像(图 4a、图 4b、图 4c、图 4d、图 4e、图 4f、

图 4g、图 4h 和图 4i 分别给出了 9 幅无失真的立体图像的左视点图像), 建立对应在高斯模糊下 5 个失真等级、高斯白噪声下 5 个失真等级、JPEG 压缩下 5 个失真等级、JPEG2000 压缩下 5 个失真等级、H. 264 压缩下 6 个失真等级的一共 234 幅失真的立体图像作为测试立体图像。这 234 幅失真的立体图像构成一个失真立体图像集合, 利用现有的主观质量评价方法分别获取该失真立体图像集合中每幅失真的立体图像的平均主观评分差值, 记为 DMOS,  $DMOS=100-MOS$ , 其中, MOS 表示主观评分均值,  $DMOS \in [0, 100]$ ; 然后按照步骤①至步骤⑥计算  $S_{dis}$  的图像质量客观评价预测值 Q 的操作, 以相同的方式分别计算该失真立体图像集合中每幅失真的立体图像的图像质量客观评价预测值。

[0090] 采用图 4a 至图 4i 所示的 9 幅无失真的立体图像在不同程度的 JPEG 压缩、JPEG2000 压缩、高斯模糊、白噪声和 H. 264 编码失真情况下的 234 幅失真的立体图像来分析这 234 幅失真的立体图像的图像质量客观评价预测值与平均主观评分差值之间的相关性。在本实施例中, 利用评估图像质量评价方法的 4 个常用客观参量作为评价指标, 即非线性回归条件下的 Pearson 相关系数(Pearson linear correlation coefficient, PLCC)、Spearman 相关系数(Spearman rank order correlation coefficient, SROCC)、Kendall 相关系数(Kendall rank-order correlation coefficient, KROCC)、均方误差(root mean squared error, RMSE), PLCC 和 RMSE 反映失真的立体图像的图像质量客观评价预测值的准确性, SROCC 和 KROCC 反映其单调性。将计算得到的 234 幅失真的立体图像的图像质量客观评价预测值做四参数 Logistic 函数非线性拟合, PLCC、SROCC 和 KROCC 值越高、RMSE 值越小说明本发明方法得到的失真的立体图像的图像质量客观评价预测值与平均主观评分差值相关性越好。反映立体图像客观评价方法性能的 PLCC、SROCC、KROCC 和 RMSE 系数如表 1 所列, 从表 1 所列的数据可知, 按本发明方法得到的失真的立体图像的最终图像质量客观评价预测值与平均主观评分差值之间的相关性是很高的, 这充分表明了客观评价结果与人眼主观感知的结果较为一致, 足以说明本发明方法的有效性。

[0091] 图 5 给出了 234 幅失真的立体图像的图像质量客观评价预测值与平均主观评分差值的散点图, 散点越集中, 说明客观评价结果与主观感知的一致性越好。从图 5 中可以看出, 采用本发明方法得到的散点图比较集中, 与主观评价数据之间的吻合度较高。

[0092] 表 1 利用本发明方法得到的 234 幅失真的立体图像的图像质量客观评价预测值与平均

[0093] 主观评分差值之间的相关性

[0094]

失真类型	JPEG 压缩	JPEG2000 压缩	高斯模糊	白噪声	H.264 编码	所有失真
------	---------	-------------	------	-----	----------	------

[0095]

立体图像数量	45	45	45	45	54	234
PLCC	0.8888	0.9585	0.9640	0.9185	0.9639	0.9361
SROCC	0.9225	0.9556	0.9604	0.8721	0.9439	0.9369
KROCC	0.7570	0.8101	0.8499	0.6889	0.8115	0.7771
RMSE	6.3602	3.1869	5.2731	5.9266	3.3995	5.7319



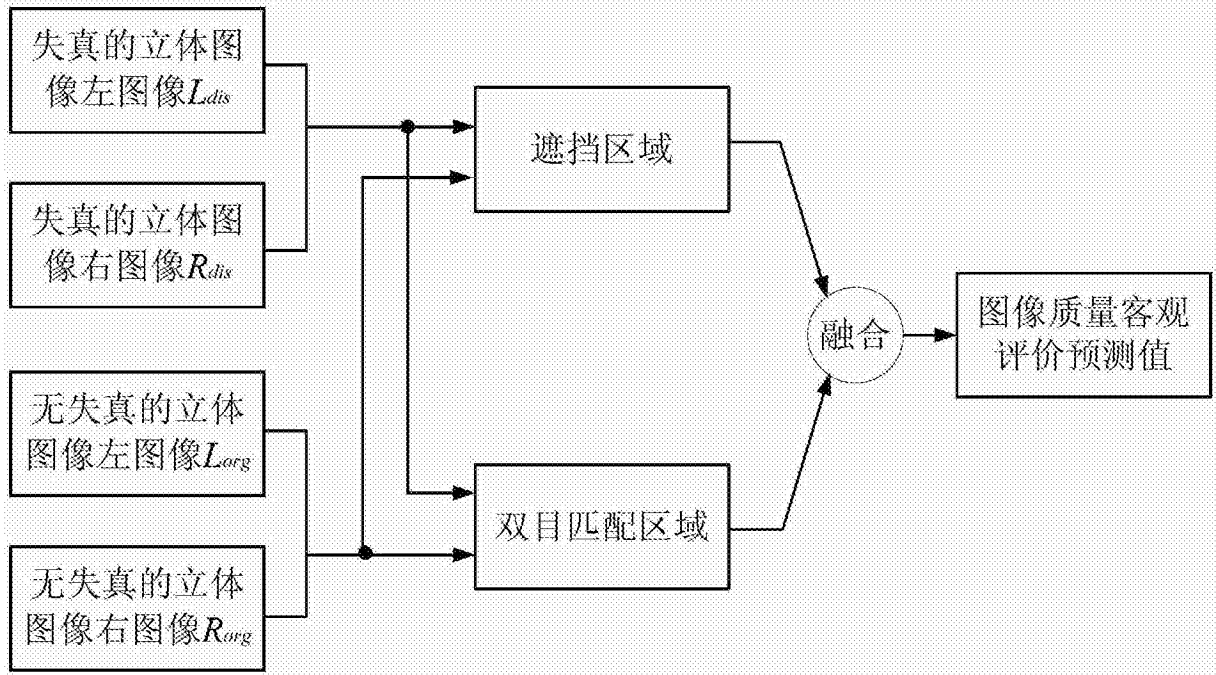


图 1

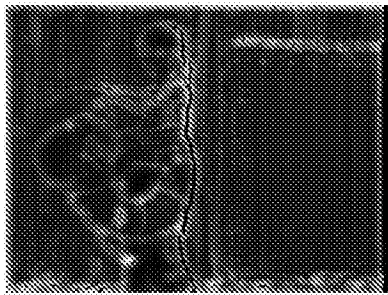


图 2a

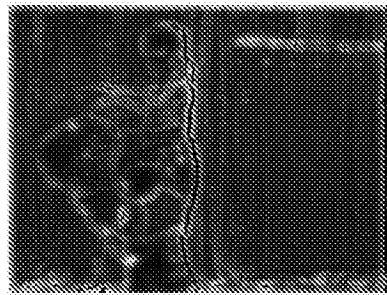


图 2b

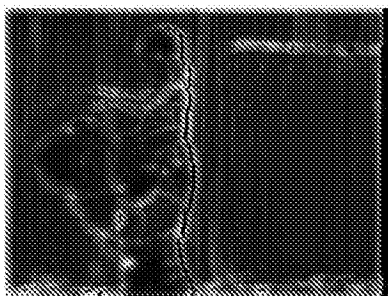


图 2c



图 2d

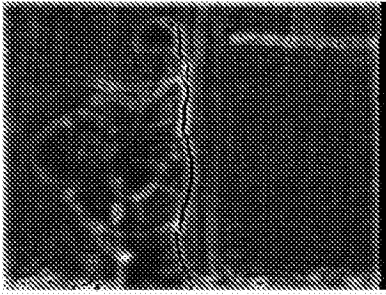


图 2e

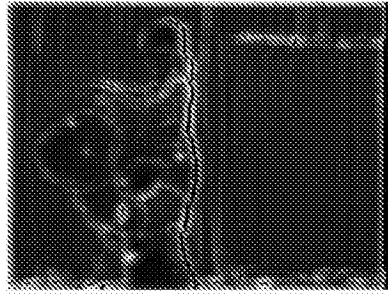


图 2f

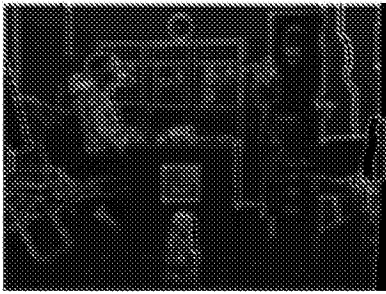


图 3a

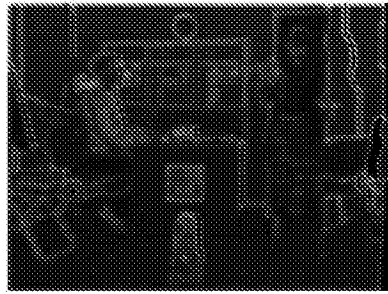


图 3b

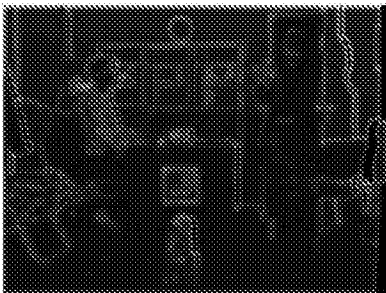


图 3c

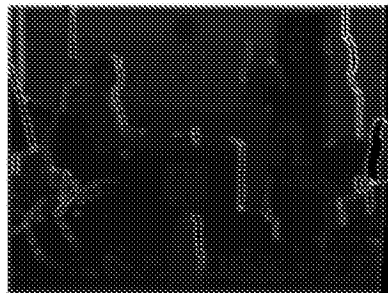


图 3d

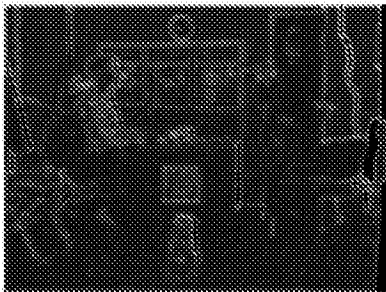


图 3e

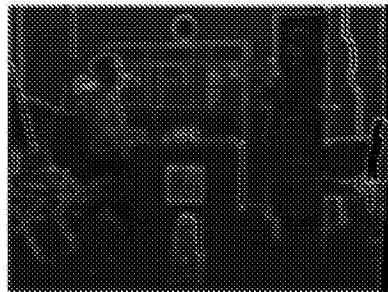


图 3f



图 4a

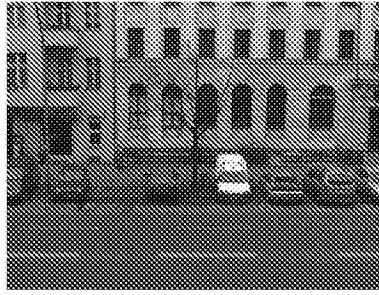


图 4b

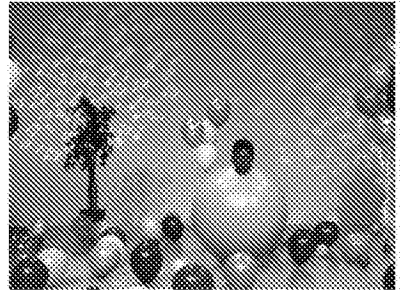


图 4c

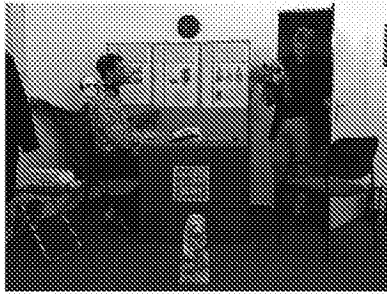


图 4d



图 4e



图 4f



图 4g



图 4h



图 4i

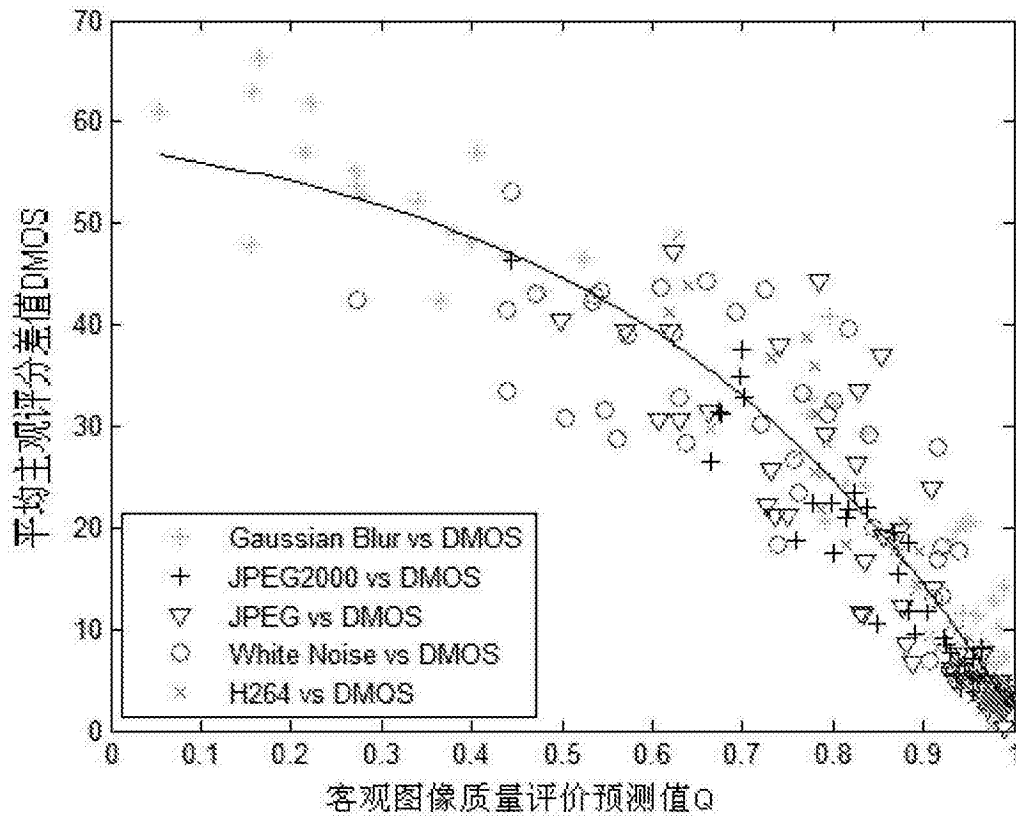


图 5