



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 108765248 B

(45) 授权公告日 2022.06.17

(21) 申请号 201810468067.6

(22) 申请日 2018.05.16

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 108765248 A

(43) 申请公布日 2018.11.06

(73) 专利权人 陕西云宝影视文化传播有限公司
地址 710000 陕西省西安市曲江新区雁南
一路曲江六号11幢1单元10301室

(72) 发明人 隋连升 王佳豪 周贝

(74) 专利代理机构 杭州寒武纪知识产权代理有
限公司 33271

专利代理师 杨桂柳

(51) Int. Cl.

G06T 1/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 101739657 A, 2010.06.16

CN 103761703 A, 2014.04.30

CN 103700061 A, 2014.04.02

KR 101677110 B1, 2016.11.17

AU 2000046200 A1, 2001.02.08

石红芹, 王艳, 余鹰. 基于压缩感知的强鲁棒性彩色图像双水印算法. 《包装工程》. 2017, 第38卷(第17期), 全文.

孙克辉, 包善琴. 基于混沌映射和小波变换的彩色图像水印算法. 《计算机应用研究》. 2009, 第26卷(第7期), 全文.

审查员 王森榕

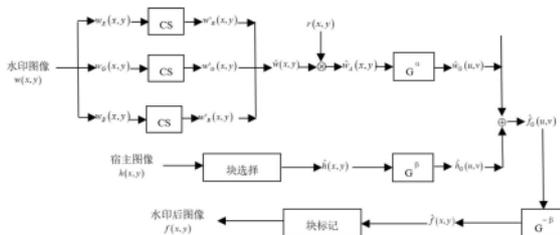
权利要求书2页 说明书8页 附图9页

(54) 发明名称

基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法

(57) 摘要

本发明基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法, 步骤包括: 1) 将用作宿主图像的灰度图像分割成非重叠块, 基于人类视觉特征值排序, 选择重要的块来制定参考图像; 2) 将彩色水印图像分解为三个分量, 用压缩感知和基于Logistic映射生成的测量矩阵进行压缩; 3) 将压缩后的分量图像组合形成灰度水印图像, 用另一个Logistic映射生成的混沌随机相位掩码调制灰度水印图像, 由GT转换; 4) 将由水印图像所得的频率系数与将GT应用于参考图像而获得的另一频率数据融合, 并且使用逆GT来对融合结果变换; 5) 将逆变换结果再次分割, 其中修改的重要块被映射到它们的原始位置以获得加水印图像。



1. 一种基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法, 其特征在于, 按照以下步骤实施:

步骤1, 将用作宿主图像 $h(x, y)$ 的灰度图像分割成非重叠块, 将其基于人类视觉特征值视觉熵和边缘熵之和以从大到小顺序排序, 选择中间值的块来制定参考图像 $\hat{h}(x, y)$;

步骤2, 将彩色水印图像 $w(x, y)$ 分解为三个分量 $w_R(x, y)$ 、 $w_G(x, y)$ 和 $w_B(x, y)$, 分别用压缩感知和基于Logistic映射生成的测量矩阵进行压缩得到 $w'_R(x, y)$ 、 $w'_G(x, y)$ 和 $w'_B(x, y)$;

步骤3, 将压缩后的分量图像 $w'_R(x, y)$ 、 $w'_G(x, y)$ 和 $w'_B(x, y)$ 组合起来形成灰度水印图像 $\hat{w}(x, y)$, 用另一个Logistic映射生成的混沌随机相位掩码 $r(x, y)$ 调制灰度水印图像 $\hat{w}(x, y)$ 得到调制结果 $\hat{w}_A(x, y)$, 具体调制过程表达式为:

$$\hat{w}_A(x, y) = \hat{w}(x, y) \otimes r(x, y) \quad (8)$$

其中的 \otimes 表示单元乘法运算, 再采用具有旋转角度 α 的GT来变换调制结果 $\hat{w}_A(x, y)$, 假设变换后调制结果为 $\hat{w}_G(u, v)$, 计算式为:

$$\hat{w}_G(u, v) = G^\alpha \{ \hat{w}_A(x, y) \} \quad (9)$$

其中的 $G^\alpha \{ \cdot \}$ 表示旋转角度为 α 的GT;

步骤4, 使用具有旋转角度 β 的GT将步骤1中得到的参考图像 $\hat{h}(x, y)$ 转换成 $\hat{h}_G(u, v)$, 表达式为:

$$\hat{h}_G(u, v) = G^\beta \{ \hat{h}(x, y) \} \quad (10)$$

将变换结果 $\hat{h}_G(u, v)$ 与用实际权重因子 γ 衰减的 $\hat{w}_G(u, v)$ 进行融合, 表达式为:

$$\hat{f}_G(u, v) = \hat{h}_G(u, v) + \gamma \times \hat{w}_G(u, v) \quad (11)$$

使用具有旋转角 $-\beta$ 的逆GT将融合图像 $\hat{f}_G(u, v)$ 变换为加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$, 表达式为: $\hat{f}(x, y) = G^{-\beta} \{ \hat{f}_G(u, v) \}$ (12)

步骤5, 将逆变换得到的加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$ 分割的块映射回步骤1中选取块的原位置。

2. 根据权利要求1所述的基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法, 其特征在于, 所述的步骤1中, 具体过程是,

图像块 f 的视觉熵定义为:

$$H_1(f) = \sum_{i=0}^{255} P(f_i) \log_2 \frac{1}{P(f_i)} \quad (1)$$

其中 $P(f_i)$ 是强度值 f_i 出现的概率, $0 \leq P(f_i) \leq 1$ 并且 $\sum_{i=0}^{255} P(f_i) = 1$,

图像块 f 的边缘熵定义为:

$$H_2(f) = \sum_{i=0}^{255} P(f_i) \exp(u(f_i)) \quad (2)$$

其中 $u(f_i) = 1 - p(f_i)$ 是强度值 f_i 的不确定性。

3. 根据权利要求1所述的基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法,其特征在于,所述的步骤5中,具体过程是,

将加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$ 分割成大小为 $p \times q$ 个像素的块,将这些修改后的块映射到其原始位置之后,构造具有 $N \times N$ 像素的加水印图像 $f(x, y)$ 。

基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法

技术领域

[0001] 本发明属于图像处理技术领域,涉及一种基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法。

背景技术

[0002] 近些年来,图像加密得到了各领域的普遍关注,基于光学的处理技术对于图像加密来说具有很高的安全性。首先,光学系统可以提供许多自由度,例如波长、焦距及镜头之间的距离;其次,它们具有并行处理和各种应用中的快速计算速度等固有的能力;此外,基于DRPE的光学处理技术可以扩展到不同的领域。

[0003] 目前,在大多数光学加密方案中,纯图像被编码成类似噪声的密文图像,这些噪音般的图像通常包含明显的视觉标志,这可以吸引破解者的注意力,当他们意识到加密图像的存在时,他们可以尽量利用加密方案固有的缺点来破译隐藏的信息。最近,由于水印技术具有很好的避免破解者注意力的能力,得到了迅速发展,可以将一些秘密信息作为水印嵌入宿主图像中以实现保护版权等目的。

发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法,解决了现有技术保密等级不够,算法难度低,容易被破解的问题。

[0005] 本发明所采用的技术方案是,一种基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法,按照以下步骤实施:

[0006] 步骤1,将用作宿主图像 $h(x,y)$ 的灰度图像分割成非重叠块,将其基于人类视觉特征值视觉熵和边缘熵之和以从大到小顺序排序,选择中间值的块来制定参考图像 $\hat{h}(x,y)$;

[0007] 步骤2,将彩色水印图像 $w(x,y)$ 分解为三个分量 $w_R(x,y)$ 、 $w_G(x,y)$ 和 $w_B(x,y)$,分别用压缩感知(CS)和基于Logistic映射生成的测量矩阵进行压缩得到 $w'_R(x,y)$ 、 $w'_G(x,y)$ 和 $w'_B(x,y)$;

[0008] 步骤3,将压缩后的分量图像 $w'_R(x,y)$ 、 $w'_G(x,y)$ 和 $w'_B(x,y)$ 组合起来形成灰度水印图像 $\hat{w}(x,y)$,用另一个Logistic映射生成的混沌随机相位掩码 $r(x,y)$ 调制灰度水印图像 $\hat{w}(x,y)$ 得到调制结果 $\hat{w}_A(x,y)$;

[0009] 步骤4,使用具有旋转角度 B 的GT将步骤1中得到的参考图像 $\hat{h}(x,y)$ 转换成 $\hat{h}_G(u,v)$,表达式为:

$$[0010] \quad \hat{h}_G(u,v) = G^\beta \{ \hat{h}(x,y) \} \quad (10)$$

[0011] 将变换结果 $\hat{h}_G(u,v)$ 与实际权重因子 γ 衰减的 $\hat{w}_G(u,v)$ 进行融合,表达式为:

$$[0012] \quad \hat{f}_G(u, v) = \hat{h}_G(u, v) + \gamma \times \hat{w}_G(u, v) \quad (11)$$

[0013] 使用具有旋转角 $-\beta$ 的逆GT将融合图像 $\hat{f}_G(u, v)$ 变换为加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$, 表达式为:

$$[0014] \quad \hat{f}(x, y) = G^{-\beta} \{ \hat{f}_G(u, v) \} \quad (12)$$

[0015] 步骤5, 将逆变换得到的加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$ 再次分割, 其中修改的重要块被映射到这些块的原始位置以获得加水印图像。

[0016] 本发明有益效果是, 通过使用人的视觉特征, 选择主图像的重要块来制定适当的参考图像以及通过将水印嵌入到参考图像中, 本发明方法在不可见性和鲁棒性之间具有良好的折衷; 压缩感知技术不是直接嵌入而是将原始彩色图像压缩形成灰度水印, 使得本发明在一定程度上具有伪装性质; 基于Logistic映射生成的随机序列, 将压缩过程中采用的测量矩阵构造为循环矩阵, 大大缩短了密钥, 方便了密钥的管理; 由于这些密钥的高度敏感性, 本发明方法的安全性大大提高; 此外, 嵌入和提取过程可以通过使用双随机相位编码框架在回转器域中以光学方式实现。

附图说明

[0017] 图1是本发明方法的水印嵌入过程的流程图;

[0018] 图2是本发明方法的水印提取程序的流程图;

[0019] 图3是本发明方法采用的4f光学系统的光学装置;

[0020] 图4a是原始主图像“船”; 图4b是彩色水印图像“Lena”;

[0021] 图5a是重建的带水印主图像“船”; 图5b是重建的彩色水印图像“Lena”;

[0022] 图6是重建的彩色水印图像“Lena”, 其中图6a是不正确的 x'_0 , 图6b是不正确的 y'_0 , 图6c是不正确的 β' , 图6d是不正确的 β ”;

[0023] 图7a是MSE曲线对 x_0 的偏差, 图7b是MSE曲线对 y_0 的偏差, 图7c是MSE曲线对 β 的偏差;

[0024] 图8是重构彩色水印图像, 其中, 图8a中 $k=0.4$, 图8b中 $k=0.6$, 图8c中 $k=0.8$, 图8d中 $k=1.0$;

[0025] 图9a是25%遮挡, 图9b是50%遮挡, 图9c是从图9a重建水印“Lena”, 图9d是从图9b重建水印“Lena”的水印图像“船”;

[0026] 图10a是作为噪声强度的函数的MSE和PSNR曲线, 图10b是作为遮挡区域的函数的MSE和PSNR曲线。

具体实施方式

[0027] 下面结合附图和具体实施方式对本发明进行详细说明。

[0028] 本发明的彩色图像水印方法, 基于回转域内人眼视觉特性选择宿主图像的一个切割块制定参考图像, 用压缩感知(CS)和基于Logistic映射生成的测量矩阵获得压缩的水印图像, 将水印图像与参考图像进行融合以及再次分割, 最后将切割块映射到原始位置获得

加水印图像。

[0029] 参照图1,本发明基于人眼视觉特性的压缩感知标识的彩色图像水印方法,按照以下步骤具体实施:

[0030] 步骤1,将用作宿主图像 $h(x,y)$ 的灰度图像分割成非重叠块,将其基于人类视觉特征值视觉熵和边缘熵之和以从大到小顺序排序,选择中间值的块来制定参考图像 $\hat{h}(x,y)$,

[0031] 具体过程是,图像块 f 的视觉熵定义为:

$$[0032] \quad H_1(f) = \sum_{i=0}^{255} P(f_i) \log_2 \frac{1}{P(f_i)} \quad (1)$$

[0033] 其中 $P(f_i)$ 是强度值 f_i 出现的概率, $0 \leq P(f_i) \leq 1$ 并且 $\sum_{i=0}^{255} P(f_i) = 1$ 。

[0034] 图像块 f 的边缘熵定义为:

$$[0035] \quad H_2(f) = \sum_{i=0}^{255} P(f_i) \exp(u(f_i)) \quad (2)$$

[0036] 其中 $u(f_i) = 1 - p(f_i)$ 是强度值 f_i 的不确定性。

[0037] 步骤2,将彩色水印图像 $w(x,y)$ 分解为三个分量 $w_R(x,y)$ 、 $w_G(x,y)$ 和 $w_B(x,y)$,分别用压缩感知(CS)和基于Logistic映射生成的测量矩阵进行压缩得到 $w'_R(x,y)$ 、 $w'_G(x,y)$ 和 $w'_B(x,y)$ 。

[0038] 具体过程是,在采样过程中用压缩感知(CS)对原始信号实现压缩,对于一维原始信号 $x \in \mathbb{R}^N$ 的 N 维向量空间,表达式为:

$$[0039] \quad x = \psi\alpha = \sum_{i=1}^N \alpha_i \psi_i \quad (3)$$

[0040] 其中, $\psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N]$ 是一个标准正交基矩阵, α 是变换系数矢量, N 表示 $N \times N$ 彩色水印图像 $w(x,y)$ 的大小;向量 $y \in \mathbb{R}^M$ 的 M 维向量空间的压缩结果通过以下线性测量来计算,其中的 $M \ll N$:

$$[0041] \quad y = \varphi x = \varphi \psi \alpha = \theta \alpha \quad (4)$$

[0042] 其中, φ 是尺寸为 $M \times N$ 的测量矩阵,矩阵 θ 是 φ 与 ψ 的乘积,

[0043] 为了从压缩结果 y 中恢复原始信号,必须解决估计稀疏解的最优化问题,其表达式为:

$$[0044] \quad \min \|\alpha\|_0 \quad (5)$$

[0045] 其中的 $\|\alpha\|_0$ 代表 α 的零范数,即其中非零元素的个数, α 值约束于公式(4)。

[0046] 测量矩阵 φ 在恢复原始信号中起着重要的作用,基于Logistic映射设计能够生成测量矩阵;通过使用具有初始值 x_0 的Logistic映射的迭代形式产生长度为 $2N$ 的随机序列值,表达式为:

$$[0047] \quad x_{n+1} = p \times x_n \times (1 - x_n) \quad (6)$$

[0048] 其中的 $p \in [0, 4]$ 是分岔参数, $x_n \in (0, 1)$ 是随机迭代值。

[0049] 为了增加随机性和干扰, $N \times N$ 彩色水印图像 $w(x,y)$ 初始大小的 N 值被丢弃,其余值

被认为是循环矩阵的第一行向量,即记为 $\varphi_1=[x^1_1, x^1_2, \dots, x^1_N]$;其次,其他行向量 φ_i 通过使用下面的递归过程来计算:

$$[0050] \quad \begin{cases} \varphi_{i,1} = \lambda \times \varphi_{i-1,N} \\ \varphi_{i,j} = \varphi_{i-1,j-1} \end{cases} \quad i = 2, 3, \dots, M; j = 2, 3, \dots, N \quad (7)$$

[0051] 其中为了减少列向量之间的相关性,参数 λ 应该大于1,实施例中选取 $\lambda=100$ 。

[0052] 步骤3,将压缩后的分量图像 $w'_R(x, y)$ 、 $w'_G(x, y)$ 和 $w'_B(x, y)$ 组合起来形成灰度水印图像 $\hat{w}(x, y)$,用另一个Logistic映射生成的混沌随机相位掩码 $r(x, y)$ 调制灰度水印图像 $\hat{w}(x, y)$ 得到调制结果 $\hat{w}_A(x, y)$,调制过程表达式为:

$$[0053] \quad \hat{w}_A(x, y) = \hat{w}(x, y) \otimes r(x, y) \quad (8)$$

[0054] 其中的 \otimes 表示单元乘法运算,再采用具有旋转角度 α 的GT来变换调制结果 $\hat{w}_A(x, y)$,假设变换后调制结果为 $\hat{w}_G(u, v)$,计算式为:

$$[0055] \quad \hat{w}_G(u, v) = G^\alpha \{ \hat{w}_A(x, y) \} \quad (9)$$

[0056] 其中的 $G^\alpha \{ \cdot \}$ 表示旋转角度为 α 的GT。

[0057] 步骤4,使用具有旋转角度 β 的GT将步骤1中得到的参考图像 $\hat{h}(x, y)$ 转换成 $\hat{h}_G(u, v)$,表达式为:

$$[0058] \quad \hat{h}_G(u, v) = G^\beta \{ \hat{h}(x, y) \} \quad (10)$$

[0059] 接着将变换结果 $\hat{h}_G(u, v)$ 与用实际权重因子 γ 衰减的 $\hat{w}_G(u, v)$ 进行融合,表达式为:

$$[0060] \quad \hat{f}_G(u, v) = \hat{h}_G(u, v) + \gamma \times \hat{w}_G(u, v) \quad (11)$$

[0061] 然后通过使用具有旋转角 $-\beta$ 的逆GT将融合图像 $\hat{f}_G(u, v)$ 变换为加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$,表达式为:

$$[0062] \quad \hat{f}(x, y) = G^{-\beta} \{ \hat{f}_G(u, v) \} \quad (12)$$

[0063] 步骤5,将逆变换得到的加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$ 再次分割,其中修改的重要块被映射到这些块的原始位置以获得加水印图像。

[0064] 将加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$ 分割成大小为 $p \times q$ 个像素的块,将这些修改后的块映射到其原始位置之后,构造具有 $N \times N$ 像素的加水印图像 $f(x, y)$ 。

[0065] 实施例

[0066] 从USC-SIPI图像数据库中选择两个图像,以 512×512 像素的灰度图像“船”作为宿主图像,使用 256×256 像素的彩色图像“Lena”用做彩色水印图像,如图4a及图4b所示。

[0067] 图4a是原始宿主图像“船”;图4b是彩色水印图像“Lena”;对于Logistic映射,控制参数 p 设置为3.99995,初始值 x_0 与 y_0 分别设置为0.35与0.45。为了简单起见,将GT的旋转角度设定相同的值,即 $\alpha = \beta = 0.32$ 。用于宿主图像和彩色水印图像之间融合的实际加权因子设置为 $1.0e^{-5}$ 。列的压缩比设置为 $C = 0.75$,这使得测量矩阵 Φ 具有 192×256 像素。重要块的大小被认为是 32×32 像素以获得参考图像。

[0068] 参照图2、图3,本发明实施例的具体步骤如下:

[0069] 步骤1,将用作宿主图像的灰度图像分割成非重叠块,将其基于人类视觉特征值视觉熵和边缘熵之和以从大到小顺序排序,选择中间值的块来制定参考图像。

[0070] 具体过程是,图像块 f 的视觉熵定义为:

$$[0071] \quad H_1(f) = \sum_{i=0}^{255} P(f_i) \log_2 \frac{1}{P(f_i)} \quad (1)$$

[0072] 其中 $P(f_i)$ 是强度值 f_i 出现的概率, $0 \leq P(f_i) \leq 1$ 并且 $\sum_{i=0}^{255} P(f_i) = 1$ 。

[0073] 图像块 f 的边缘熵定义为:

$$[0074] \quad H_2(f) = \sum_{i=0}^{255} P(f_i) \exp(u(f_i)) \quad (2)$$

[0075] 其中 $u(f_i) = 1 - P(f_i)$ 是强度值 f_i 的不确定性。

[0076] 步骤2,将彩色水印图像 $w(x, y)$ 分解为三个分量 $w_R(x, y)$ 、 $w_G(x, y)$ 和 $w_B(x, y)$,分别用压缩感知(CS)和基于Logistic映射生成的测量矩阵进行压缩得到 $w'_R(x, y)$ 、 $w'_G(x, y)$ 和 $w'_B(x, y)$ 。

[0077] 具体过程是,在采样过程中用压缩感知(CS)对原始信号实现压缩,对于一维原始信号 $x \in \mathbb{R}^N$ 的 N 维向量空间,表达式为:

$$[0078] \quad x = \psi \alpha = \sum_{i=1}^N \alpha_i \psi_i \quad (3)$$

[0079] 其中, $\psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N]$ 是一个标准正交基矩阵, α 是变换系数矢量, $N = 256$,表示 256×256 彩色水印图像“Lena”的大小。向量 $y \in \mathbb{R}^M$ 的 M 维向量空间的压缩结果通过以下线性测量来计算,其中的 $M = 192$:

$$[0080] \quad y = \varphi x = \varphi \psi \alpha = \theta \alpha \quad (4)$$

[0081] 其中 φ 是尺寸为 192×256 的测量矩阵,矩阵 θ 是 φ 与 ψ 的乘积。

[0082] 为了从压缩结果 y 中恢复原始信号,必须解决估计稀疏解的最优化问题,其表达式为:

$$[0083] \quad \min \|\alpha\|_0 \quad (5)$$

[0084] 其中的 $\|\alpha\|_0$ 代表 α 的零范数,即其中非零元素的个数, α 值约束于公式(4)。

[0085] 测量矩阵 Φ 在恢复原始信号中起着重要的作用,基于Logistic映射设计能够生成

测量矩阵;通过使用具有初始值 x_0 的Logistic映射的迭代形式产生长度为512的随机序列值,表达式为:

$$[0086] \quad x_{n+1} = p \times x_n \times (1 - x_n) \quad (6)$$

[0087] 其中的 $p \in [0, 4]$ 是分岔参数, $x_n \in (0, 1)$ 是随机迭代值。

[0088] 为了增加随机性和干扰,256×256彩色水印图像“Lena”初始大小的256值被丢弃,其余值被认为是循环矩阵的第一行向量,即记为 $\varphi_1 = [x'_1, x'_2, \dots, x'_N]$;其次,其他行向量 φ_i 通过使用下面的递归过程来计算:

$$[0089] \quad \begin{cases} \varphi_{i,1} = \lambda \times \varphi_{i-1,N} \\ \varphi_{i,j} = \varphi_{i-1,j-1} \quad i = 2, 3, \dots, M; j = 2, 3, \dots, N \end{cases} \quad (7)$$

[0090] 其中为了减少列向量之间的相关性,参数 λ 应该大于1,实施例中选取 $\lambda = 100$ 。

[0091] 步骤3,将压缩后的分量图像组合起来形成灰度水印图像,采用Logistic映射生成的混沌随机相位掩码 $r(x, y)$ 调制灰度水印图像,调制过程表达式为:

$$[0092] \quad \hat{w}_A(x, y) = w(x, y) \otimes r(x, y) \quad (8)$$

[0093] 其中的 \otimes 表示单元乘法运算,再采用具有旋转角度 $\alpha = 0.32$ 的GT来变换调制结果 $\hat{w}_A(x, y)$,假设变换后调制结果为 $\hat{w}_G(u, v)$,计算式为:

$$[0094] \quad \hat{w}_G(u, v) = G^\alpha \{ \hat{w}_A(x, y) \} \quad (9)$$

[0095] 其中的 $G^\alpha \{ \cdot \}$ 表示旋转角度为 $\alpha = 0.32$ 的GT。

[0096] 步骤4,通过使用具有旋转角度 $\beta = 0.32$ 的GT将步骤1得到的参考图像 $\hat{h}(x, y)$ 转换成 $\hat{h}_G(u, v)$,表达式为:

$$[0097] \quad \hat{h}_G(u, v) = G^\beta \{ \hat{h}(x, y) \} \quad (10)$$

[0098] 接着将变换结果 $\hat{h}_G(u, v)$ 与用实际权重因子 $\gamma = 1.0e^{-5}$ 衰减的 $\hat{w}_G(u, v)$ 进行融合,表达式为:

$$[0099] \quad \hat{f}_G(u, v) = \hat{h}_G(u, v) + \gamma \times \hat{w}_G(u, v) \quad (11)$$

[0100] 然后通过使用具有旋转角 $-\beta = -0.32$ 的逆GT将融合图像 $\hat{f}_G(u, v)$ 变换为加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$,表达式为:

$$[0101] \quad \hat{f}(x, y) = G^{-\beta} \{ \hat{f}_G(u, v) \} \quad (12)$$

[0102] 步骤5,将逆变换的结果 $\hat{f}(x, y)$ 再次分割,其中修改的重要块被映射到这些块的原始位置以获得加水印图像。

[0103] 将加水印参考图像 $\hat{f}(x, y)$ 分割成大小为 32×32 个像素的块,将这些修改后的块映射到其原始位置之后,构造得到具有 256×256 像素的水印图像 $f(x, y)$ 。

[0104] 实验验证

[0105] 1) 敏感度测试

[0106] 采用原始图像与重构图像之间的均方差 (MSE) 来研究本发明方法对用作密钥的参数例如 x_0, y_0 和 β 的敏感度。设 $M \times N$ 像素的 $f(x, y)$ 和 $g(x, y)$ 分别表示原始图像和重建图像的强度值, MSE表达式为:

$$[0107] \quad MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N |f(x, y) - g(x, y)|^2 \quad (13)$$

[0108] 2) 鲁棒性测试

[0109] 将水印图像之间的峰值信噪比 (PSNR) 用于评估水印的透明度。假设 $M \times N$ 像素的 $h_0(x, y)$ 和 $h_w(x, y)$ 分别表示宿主图像和水印图像, PSNR从以下表达式的原始宿主图像计算得到:

$$[0110] \quad PSNR = 10 \times \log \left\{ \frac{255^2}{MSE(h_0, h_w)} \right\} \quad (14)$$

[0111] 更一般地说,当水印图像的PSNR值大于30.00dB时,主图像的变形可能具有良好的不可感知性。图5a描述了其PSNR值达到50.3272dB的“Boat”的水印图像,其中从人类视觉特征的角度看没有观察到感知劣化。图5b中示出了MSE值为14.1272的重构彩色水印图像“Lena”,其具有全部正确的秘密密钥,由此不能直观地辨别原始水印与相应重建之间的差异。

[0112] 因为只有Logistic映射的初始值 x_0, y_0 和GT的旋转角 β 被用作秘密密钥,所以对对这些参数的敏感性进行研究。保持所有其他参数的正确性,通过考虑与指定参数的给定值的微小偏差来重建原始水印图像。如图6a、图6b、图6c、图6d所示,重建的水印图像分别针对逻辑映射 $x_0' = x_0 + 10^{-16}$ 和 $y_0' = y_0 + 10^{-15}$ 的错误初始值,不正确的旋转角度 $\beta' = \beta - 2 \times 10^{-8}$ 和 $\beta'' = \beta + 2 \times 10^{-8}$,从中不能可视地识别任何水印内容。图7a、图7b、图7c显示了原始水印图像及其重建与不同参数偏差之间的MSE图。曲线清楚地表明MSE对于正确的参数接近于零,而对于每种情况的微小变化都高度增加。尽管图7c所示的曲线没有急剧增加,但当旋转角度偏离为 -2×10^{-8} 和 2×10^{-8} 时, MSE值高达 $3.0269e+5$ 和 $3.0297e+5$ 。如图6c和图6d所示,未经授权的用户不能从重建的水印图像中获得任何有用的信息。很显然,本发明方法对密钥非常敏感;同时,整个关键空间约为 $1016 \times 1015 \times 10 = 10738$,足以抵抗各种暴力攻击。

[0113] 为了分析所提出方案的鲁棒性,研究了噪声攻击对水印图像的影响。根据噪声攻击,通过使用具有零均值和0.01标准偏差的高斯随机噪声 $G(x, y)$,假设水印图像 $f(x, y)$ 被噪声污染,其在数学上被表达为: $f'(x, y) = f(x, y) + k \times G(x, y)$ (15)

[0114] 其中 $f'(x, y)$ 表示噪声水印图像, k 是表示噪声强度的系数。图8描述了当噪声强度分别被设置为0.4, 0.6, 0.8和1.0时的重构水印图像。尽管当噪声强度增加时恢复的水印图像变得模糊,但可以直接区分不同的结构信息。所以,可以肯定地说,本发明方法对高斯噪声攻击表现出更大的容忍度。

[0115] 为了检查对水印图像的遮挡攻击的影响,通过两个代表性情况进行定性分析,其中水印图像的特定区域中的数据被替换为零。这意味着某些像素的强度信息丢失了。图9a和图9b分别显示了被遮挡的水印图像,其中25%和50%的强度值分别从左侧丢失。图9c和图9d分别显示了相应的重构水印图像。即使当遮挡达到50%时,原始水印图像也可以被恢复。应该指出的是,水印图像的质量随着遮挡面积的增加而显着下降,特别是对于颜色信息。因此,验证了本发明方法对于遮挡攻击显示出足够的鲁棒性。

[0116] 原始水印图像与重建水印图像之间的MSE和PSNR曲线如图10a所示,其中噪声强度 k 从0.1变化到1.6,步骤0.1。如预期的那样,MSE曲线对于小的噪声系数具有较低的值并且表现出逐渐增加,而PSNR曲线具有较高的值并且表现出逐渐降低。MSE和PSNR曲线相对于遮挡区域的百分比如图10b所示,并不像图10a中的曲线那样平滑地改变。类似地,可以得出这样的结论:随着遮挡面积百分比的增加,恢复的水印图像的质量恶化得更严重。通过上述讨论,证明本发明不仅可以恢复具有高感知质量的水印,而且还可以成功抵抗诸如噪声和堵塞攻击等多种攻击。即使遮挡大小达到50%,颜色水印也可以通过视觉重建。仿真结果表明,本发明方法不仅能够提供不可感知性的良好性能,而且还能够抵抗诸如高斯噪声攻击和闭塞攻击等多种攻击的足够的鲁棒性。

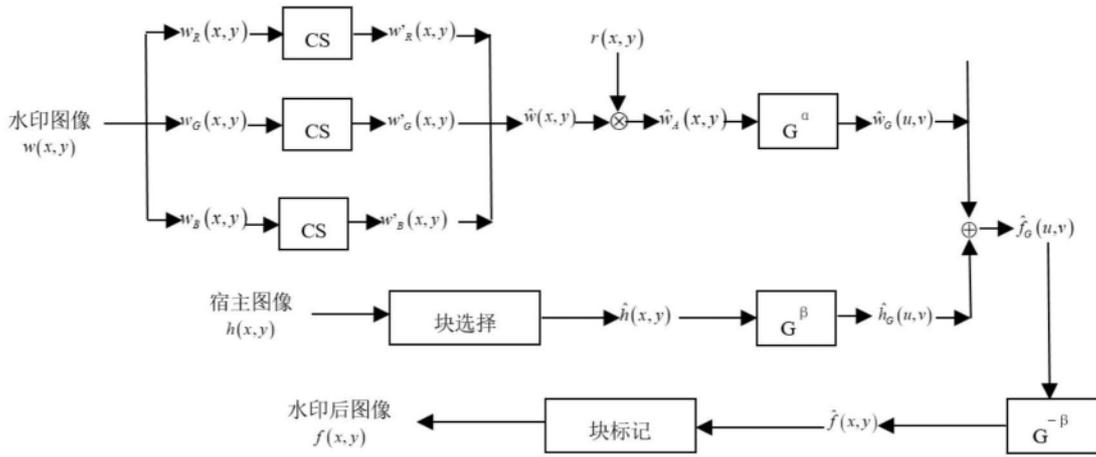


图1

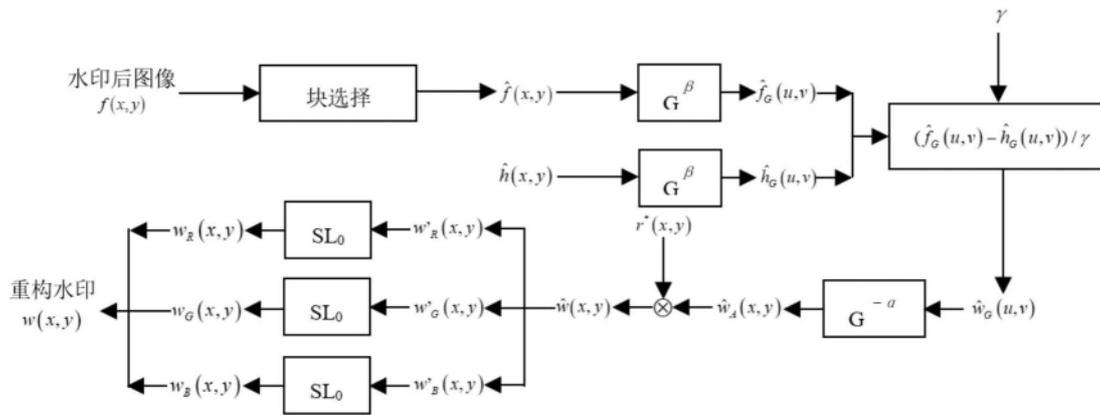


图2

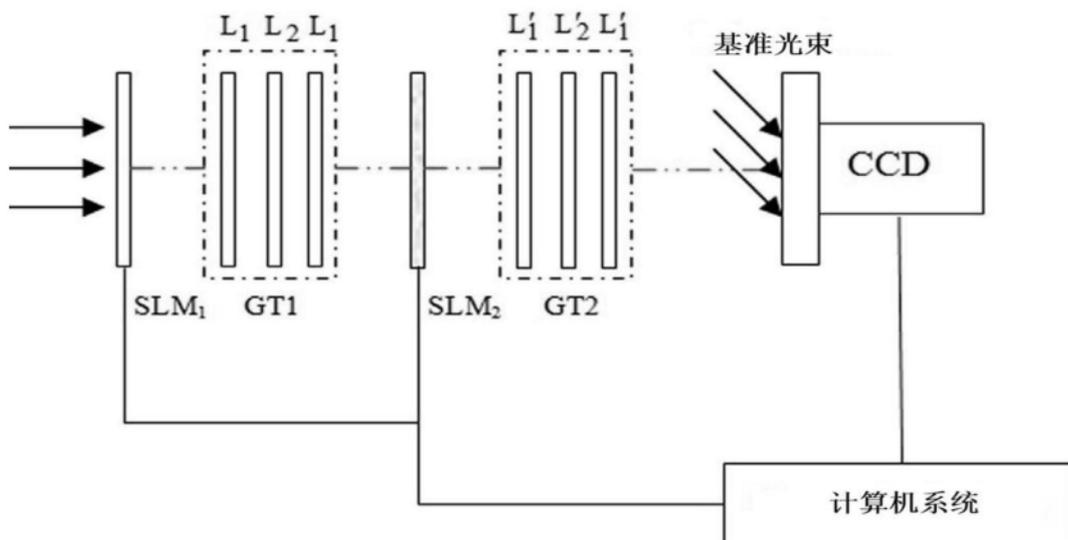


图3



图4a



图4b



图5a



图5b

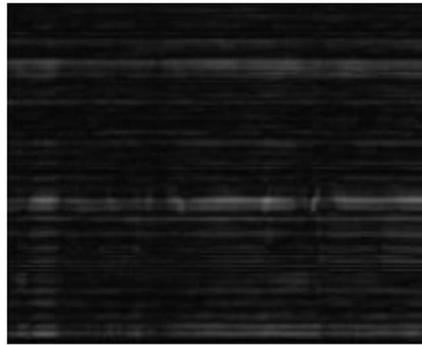


图6a

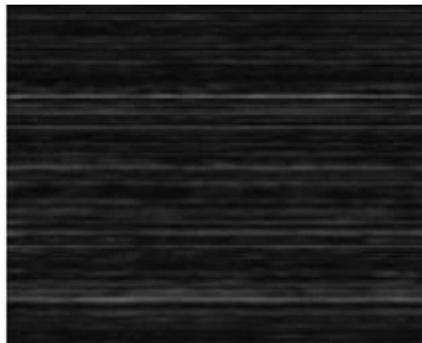


图6b

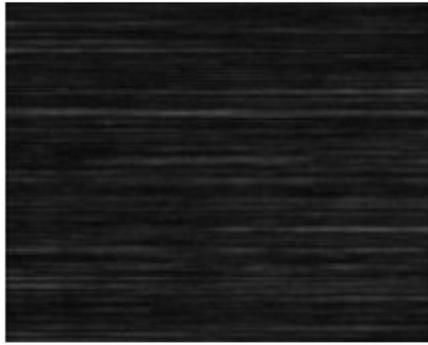


图6c

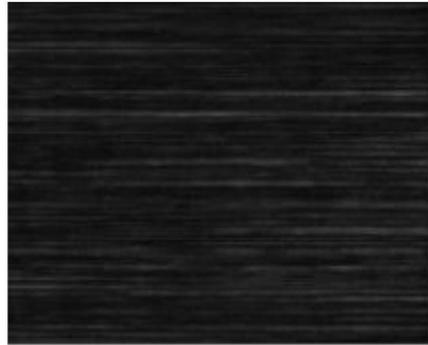


图6d

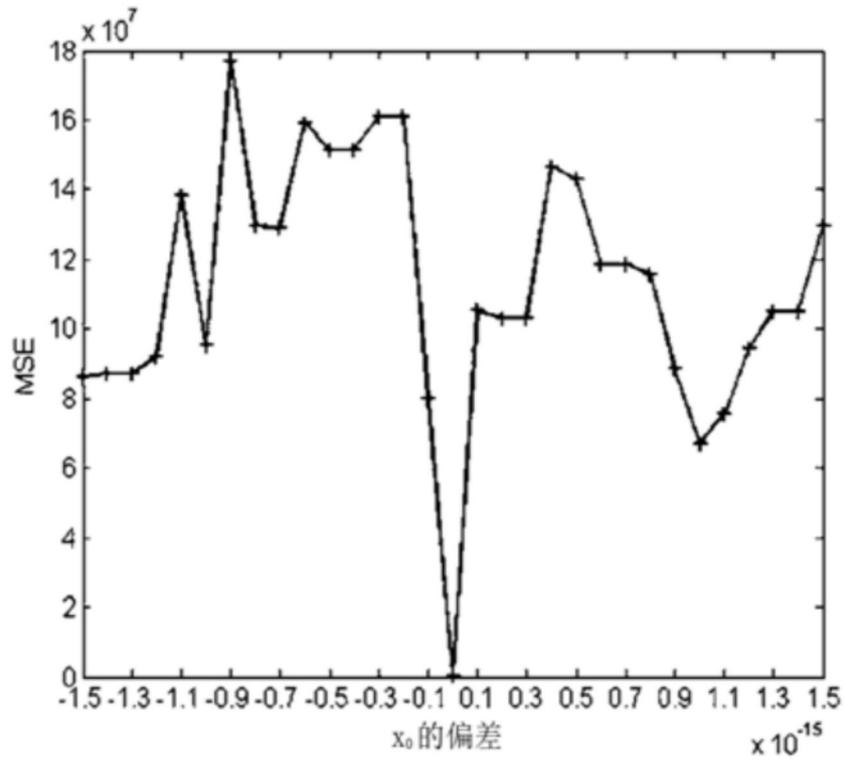


图7a

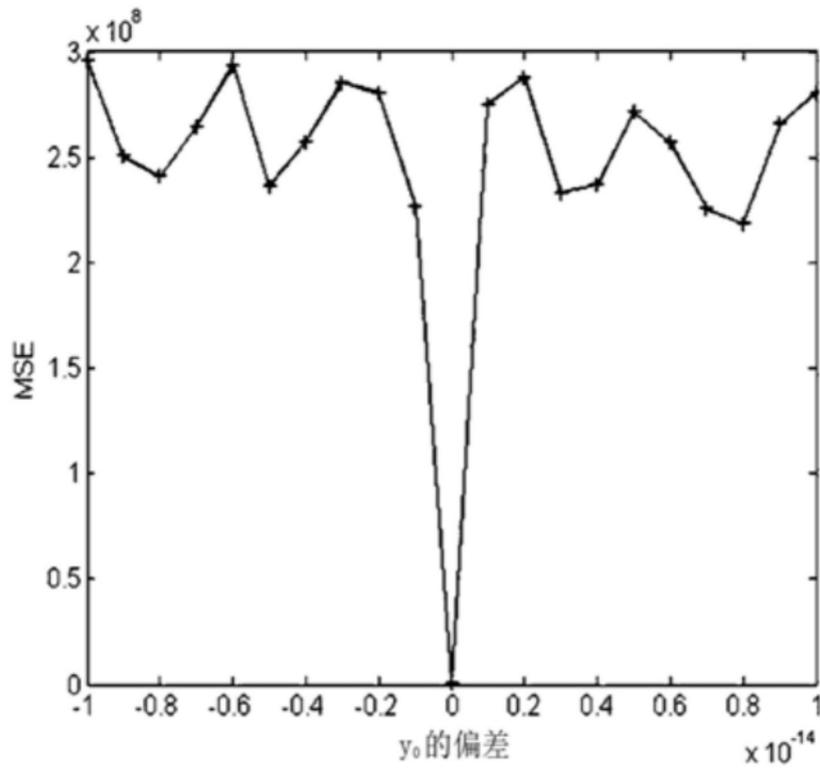


图7b

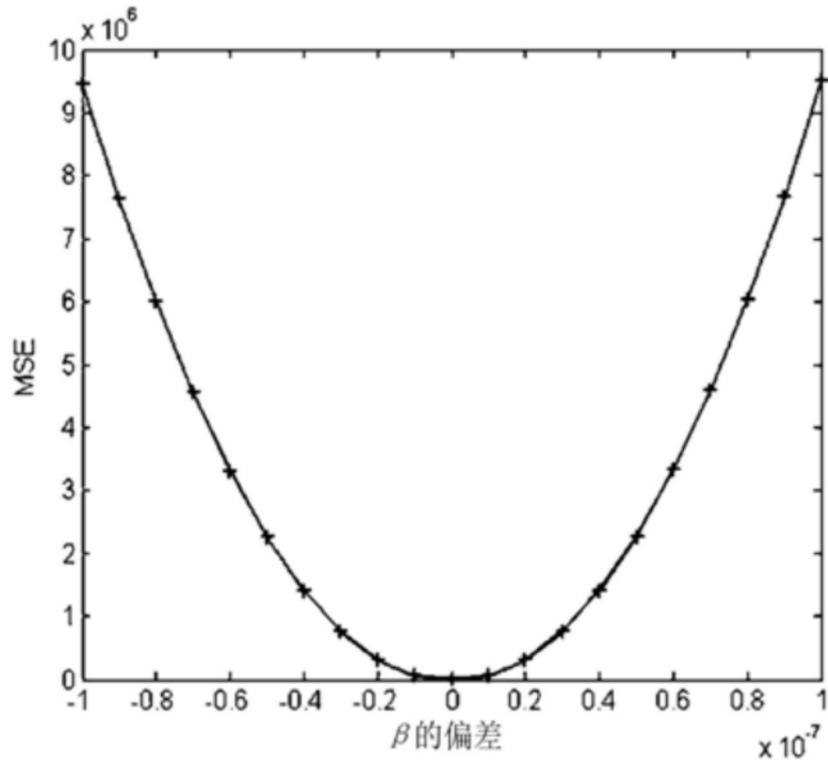


图7c



图8a

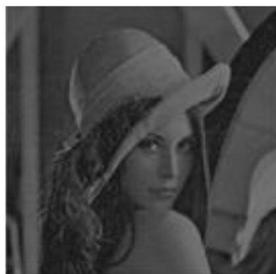


图8b

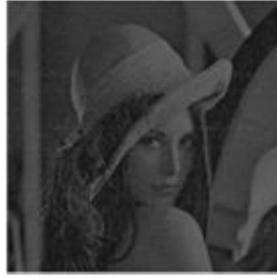


图8c



图8d



图9a



图9b



图9c



图9d

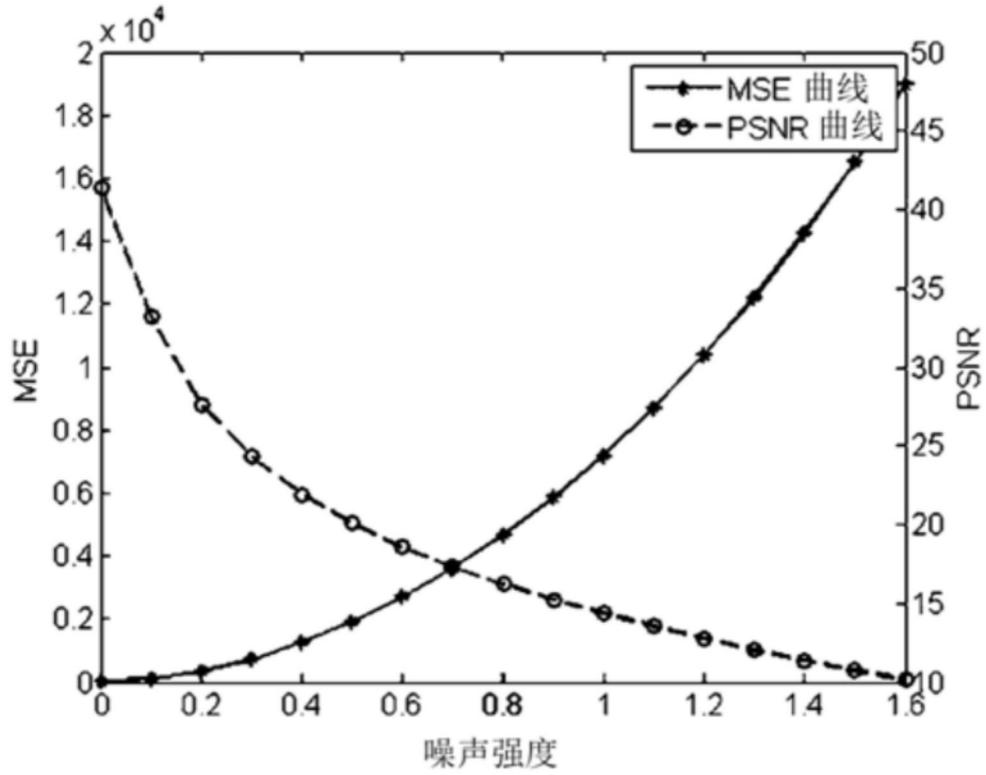


图10a

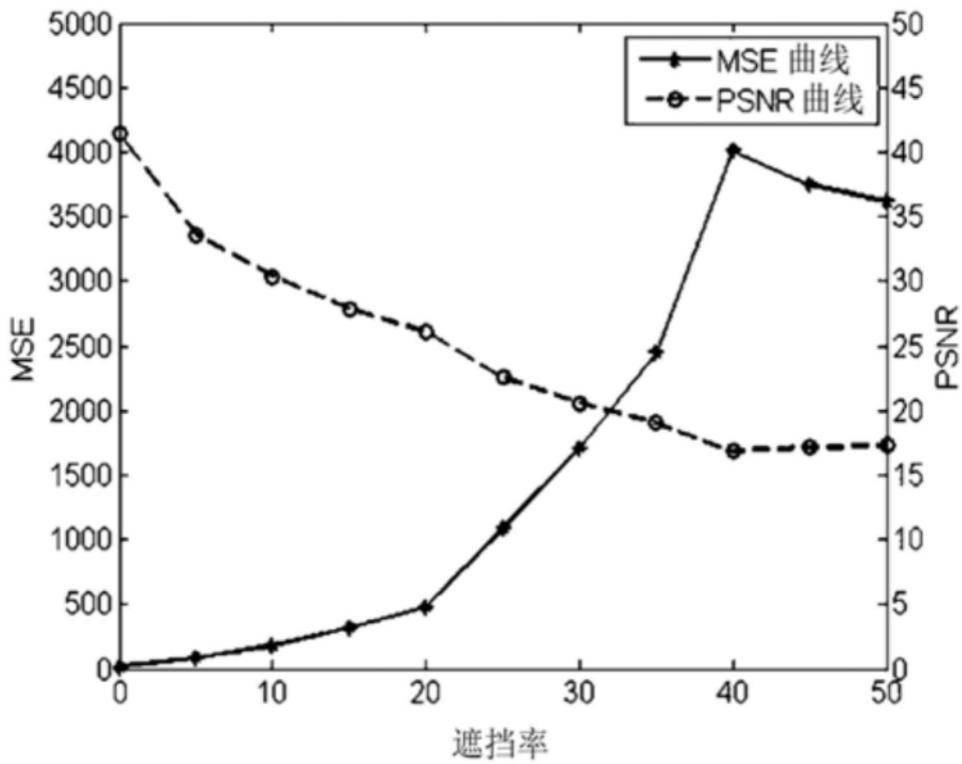


图10b